ISSN 0388—9718

BULLETIN OF NATIONAL RESEARCH INSTITUTE OF FISHERIES ENGINEERING

No. 5 March 1984

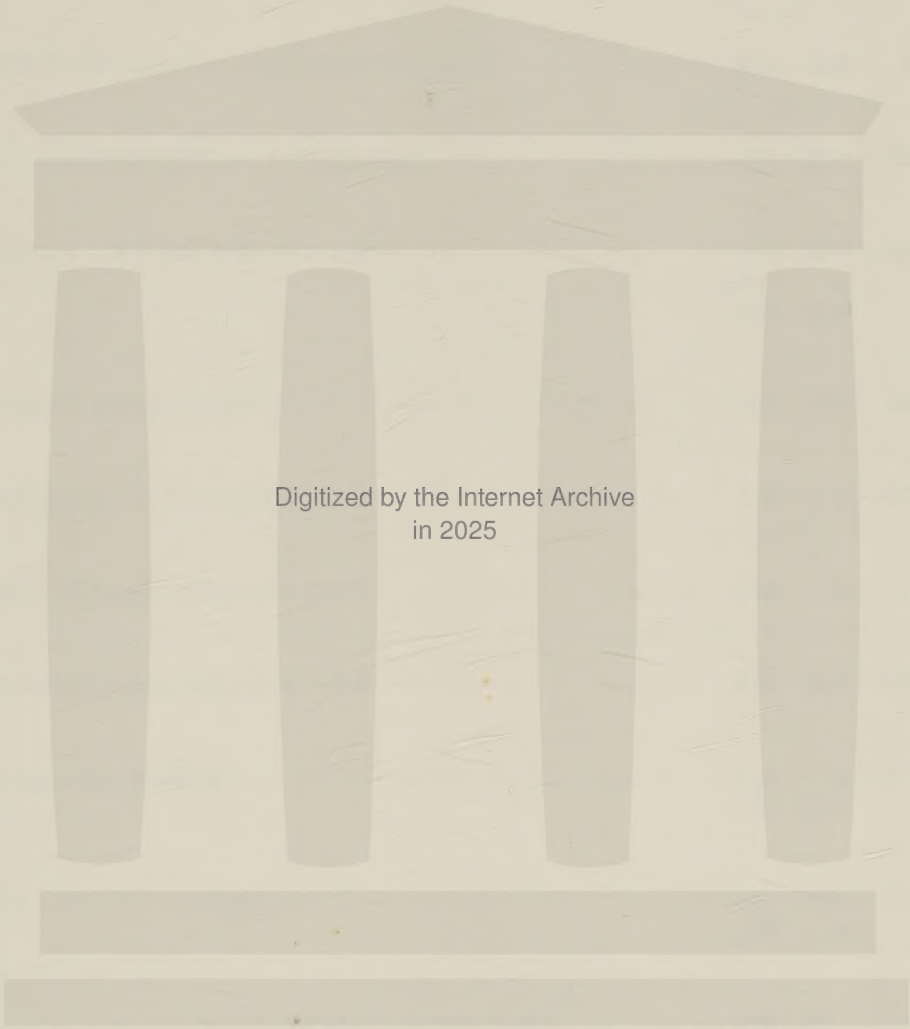
水産工学研究所報告

第 5 号

昭和 59 年 3 月

LIBRARY
AUG 24 1984
National Marine Fisheries Service
2570 Dole Street
Honolulu, Hawaii

水 産 庁
水 産 工 学 研 究 所
NATIONAL RESEARCH INSTITUTE OF
FISHERIES ENGINEERING
FISHERIES AGENCY



Digitized by the Internet Archive
in 2025

https://archive.org/details/bulletin-of-national-research-institute-of-fisheries_1984-03_5

水産工学研究所報告　第5号

目　　次

小型環流水槽によるマダイ幼魚の走流行動の観察……安永　義暢… 1

ゲートからの定常流出に伴う内部流の流況……乃万　俊文… 25

海底礁による地形性湧昇流に関する研究　I……上北　征男… 33
中村　充
秀島　好昭

過圧密粘性土の破壊強度特性……大槇　正紀… 67

沿岸高速漁船の最適操業検討用シミュレーションプログラム……土屋　孟… 81

高速沿岸漁船の速力性能に関する研究……小林　務… 97

追波中の漁船の抵抗変動と波乗り現象……梅田　直哉…185

沿岸漁船の騒音計測結果……久保　敏…207
山田　敏夫

円型オッターボードの性能について……小山　武夫…215
大場　修

スキャンニングソナーによる定置網漁場の魚群行動調査　II……田原　陽三…223
——岩漁場における魚群行動——　井上　喜洋

BULLETIN OF
NATIONAL RESEARCH INSTITUTE OF
FISHERIES ENGINEERING

No. 5

Contents

Yoshinobu YASUNAGA
Ethological Study of Rheotaxis of *Pagrus major* with a Small Circulation Tank 1

Toshifumi NOMA
Densimetric Flow Pattern Accompanying Outflow from a Gate 25

Yukio UEKITA, Makoto NAKAMURA and Yoshiaki HIDESHIMA
Observation of the Upwelling Causing Behind the Large Reef in Case of Siomaki, Yamaguchi Pref. 33

Seiki OHMAKI
Shear Strength Characteristics of Overconsolidated Cohesive Soil..... 67

Tsutomu TSUCHIYA
Simulation Program to find the Optimum Operation Plan for the Coastal Fishing Boats 81

Tsutomu KOBAYASHI
Study on Speed-performance of high Speed Coastal Fishing Boat..... 97

Naoya UMEDA
Resistance Variation and Surfriding of a Fishing Boat in Following Sea···185

Satoshi KUBO and Toshio YAMADA
Noise Level aboard the Coastal Fishing Boat 207

Takeo KOYAMA and Osamu ŌBA
Characteristics of a Saucer Shaped Board 215

Yozo TAWARA and Yoshihiro INOUE
Studies on Fish Behavior with Scanning Sonar around Set Nets II
—Observing Fish Behavior in Iwa Fishing Ground— 223

水工研報告 5
1984 p.p. 1~23

小型環流水槽によるマダイ幼魚の走流行動の観察

安 永 義 暢*

目 次

1. 緒 言…… 1
2. 実験諸元…… 1
3. 実験結果…… 2
4. 考 察…… 5
5. 結 語…… 9

1. 緒 言

マダイをはじめとする数種の魚類を対象として増殖場の造成が進められているが，対象魚の蝟集，滞留，成長を期するためには，その行動性状に適した効果的な施設の開発が望まれよう。今後，幼稚仔保育場，魚礁を含め，各種増殖施設の設計，設置方法の開発に魚類の行動性状の検討が必要と考えられる。

現状では魚類の行動と構造物との関連性についての理論的基盤は不十分であり，とりわけ，魚礁性（走触性）の乏しい魚種については遊泳行動，対音響行動，摂餌行動等の面からの多面的な検討が求められよう。

今回，魚類の行動性状に関する基礎的研究として，マダイ幼魚の走流行動について検討を加え，若干の知見を得たので報告する。

2. 実験諸元

2.1 供試材料および実験用設備

種苗用として生産され，約3カ月間飼育した体長7～9 cm のマダイ幼魚を供試魚として用いた。

実験用水槽は塩ビ製で，長さ3 m，奥行き1 m，深さ50 cm，水路幅40 cm，観測部1 m×0.4 m，流速に応じ観測部前後に目合い1～5 mm のステンレス整流網を置いて整流をはかった。模式図を図1に示す。

実験時の水深は 40 cm とし，水温は 20±1℃，塩分33～34‰ に保ち，濾過装置により pH 8.0～8.2 を基準として水質の維持をはかった。また，照度条件は観測部上方に白色燈を設置，光むらの生じないようスクリーンを通して水面上で 3,000 Lux 前後に調整した。

流速の設定は水槽前半部，中層とし，プロペラ式流速計を用いて 5～20 cm/sec の範囲内で行った。

* 水産土木工学部

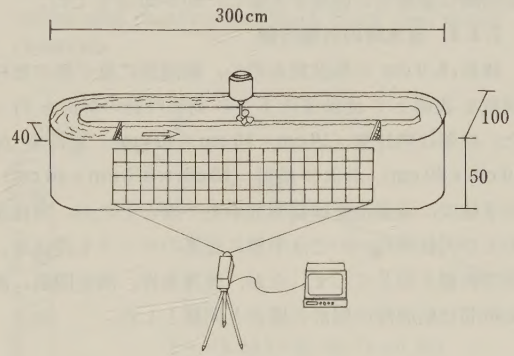


図 1 測定用小型環流水槽略図
The sketch of small circulation tank for measurement of rhotaxitic behaviour

2.2 測定方法

供試魚は測定日前日に水槽に収容，水槽への馴化を図った。行動観察はテレビカメラを用い，モニターまたはビデオによって解析した。また，観測部窓には図1に示すように 10 cm×10 cm の区画線を設け，解析上の基準に用いた。なお，遊泳行動の解析に際して，カメラの画角から生ずる位置誤差の補正は行っていない。

実験項目別の測定方法は以下の通りである。

2.2.1 走流性の解析

体長 8.2 cm の供試魚を用い，流速 20 cm/sec での走流性の解析を行った。走流性は頭部が流向と対する場合を ＋，流向に順ずる場合を － として判定した。測定は5秒間隔で 60 分間行った。

2.2.2 耐流性の解析

体長 7.7 cm の供試魚を用い，0，5，10，15，20 cm/sec の流速での耐流性の解析を行った。測定は 10 秒間隔で 30 分間行い，この間の水槽前半部への滞留頻度を

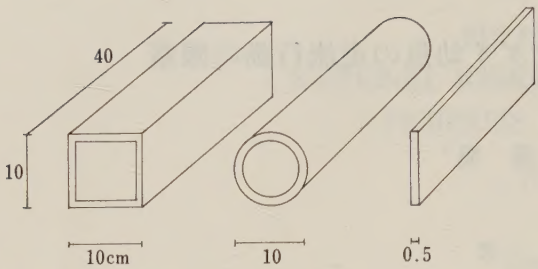


図 2　実験用模型略図
The sketch of model reef

もって耐流性の判定を行った。なお，各設定流速間の測定間隔は遊泳力の回復を考慮し，30～60 分とした。

2.2.3　流水時の対物行動

体長 8.0 cm の供試魚を用い，観測部に塩ビ製の部材模型を設置して流動条件下での対物行動の解析を行った。模型は角柱型（10 cm×10 cm×40 cm），円筒型（ϕ 10 cm×40 cm）および板型（10 cm×0.5 cm×40 cm）の3種で，設置位置は観測部中央下層としたが，角柱型および円柱型については中層に設置のケースも設けた。模型外観を図2に示す。なお，流速条件，測定間隔，測定時間は耐流性の解析の場合と同様とした。

3.　実験結果

実験項目ごとの結果は以下の通りであった。

3.1　走流性の解析

3.1.1　遊泳軌跡

眼球を目印として供試魚の5秒ごとの位置を図面上にプロットし，各点を直線で結んで近似的な軌跡を求めた。図3に15分間隔の軌跡を示す。これによると最初の15分は水槽全域にわたって移動が行なわれているが，以後水槽前半部への移動が少なくなり，最後の15分では水槽後端部での滞泳頻度が高くなっている。

時間経過とともに水槽前半部への移動が少なくなる傾向は水槽前半部での滞泳頻度の変化で表示される。図4に10分間隔の水槽前半部滞泳頻度を示すが，時間経過とともに指数関数的に同頻度の減少する傾向が明らかである。

3.1.2　走流性

走流性については全測定回数の88.7%が＋で，供試魚が流向に逆って遊泳する時間の多いことが明らかである。ただし，随時＋から－に転ずる行動が見られ，この傾向は水槽前部の滞泳頻度の高い測定初期に多く見受けられる。

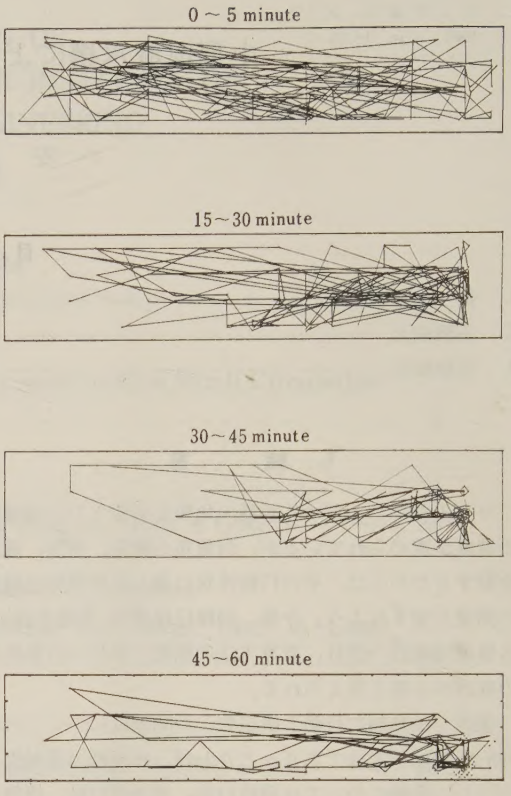


図 3　マダイ幼魚（TL 8 cm）の遊泳軌跡の経時変化
Hourly change of swimming loci of a juvenile of *Pargus major*

図5は5分間隔の－の頻度であるが，最初の10分間はとくに大きい。また，同10分間の方向の変化を5秒ごとに求めると図6に示すように＋の連続ののちに間歇的に－が現われ，全体の約18%を占めている。

3.2　耐流性の解析

3.2.1　流速別の滞泳位置の変化

付図1に各流速条件でのブロック別の滞泳頻度を示す。流速の増加に伴って滞泳頻度の高いブロックが次第に水槽後半部に多くなる傾向が認められる。水槽前半部各ブロックの滞泳頻度の合計値は流速 0 cm/sec で 48.4%，5 cm/sec で 51.2%，10 cm で 42.3%，15 cm で 30.7%，20 cm/sec で 27.8% となり，流速 V と頻度 F とは図7に示すように $F=-1.10V+51.08$（r=0.934）なる式で表わされる。

一方，水槽上半部の合計値は同様の流速順序で 32.8%，32.7%，21.60，27.9%，35.6% となり，図8に示

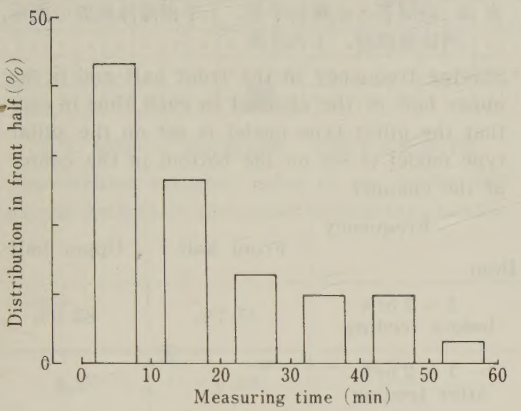


図 4　測定経過時間と水槽前半部滞泳頻度の関係
The relation between measwing lapse time and swimming freguency in the front half of channel

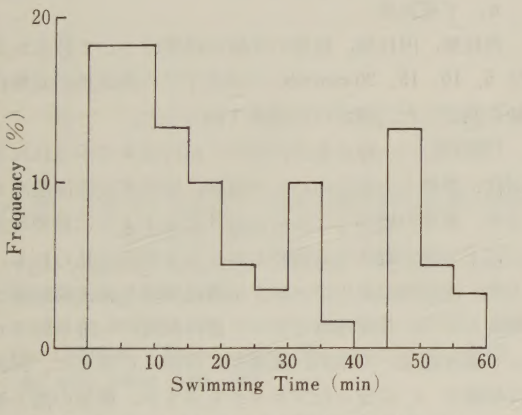


図 5　負の走流行動の測定頻度経時変化
Hourly change of measuring frequency of minus rheotaxis behaviour

図 6　最初の 10 分間における走流方向の 5 秒ごとの経時変化，□ ＋方向，■ －方向を表わす
Hourly change of swimming direction in every five second in first ten minutes. White block means plus rhotaxis and black block does minus rheotaxis

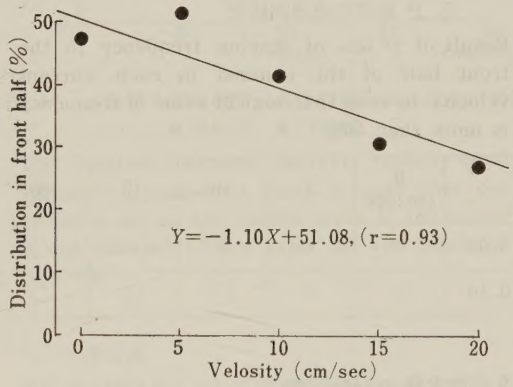


図 7　流速と水槽前半部滞泳頻度の関係
The relation between current velocity and staying frequency in the front half of the channel

すように流速との相関性は認められない。

3.2.2　耐流限界流速の判定

供試魚の耐流限界流速を以下の方法によって求めた。

(1)　静水条件（流速 0 cm/sec）下では供試魚は水槽内を自由に遊泳し，水槽前半部および後半部の滞泳頻度は各 50% になる。

(2)　遊泳能力が設定流速を上まわっている場合は(1)と同様の滞泳頻度の比率になるか前半部の滞泳頻度が 50% 以上となる。

(3)　(1), (2)の仮定にもとずき，設定流速下での水槽前半部滞泳頻度 ≧50% を耐流理論値として χ^2 検定する。

(4)　有意差の認められる流速をもって供試魚の耐流限界遊泳速度とする。

まず，各流速条件下での水槽前半部滞泳頻度は止水時 48.4%，5 cm/sec の 51.2% を境に順次減少して 20 cm/sec では 27.9% となり，流速 V と滞泳頻度 F とは図 7 に示すように $F=-1.10V+51.08$ (r=0.934) なる関係式で表わされた。各頻度に関し，前述理論値に対して有意差の生ずる流速は有意水準のとり方によって異なり，表 1 に示すように $\alpha=0.10$ では 10 cm/sec, $\alpha=0.05$ では 20 cm/sec となった。したがって，今回の測定方法での供試魚の耐流速度は 5 cm/sec 間隔で有意水準 0.90 では 10 cm/sec, 0.95 では 20 cm/sec と求められる。

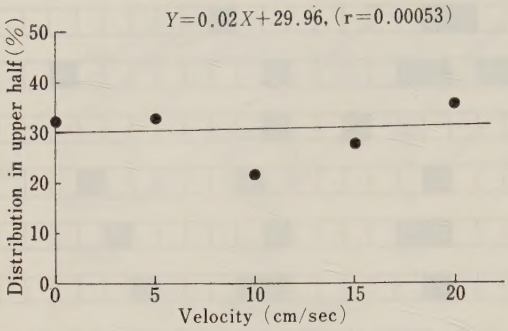


図 8　流速と水槽上半部滞泳頻度の関係

The relation between current velocity and staying frequency in the upper half of the channel

表 1　水槽前半部滞泳頻度理論値 ≧50% に対する χ^2 検定の流速別結果

Result of χ^2 test of staying frequency in the front half of the channel in each current velocity in case that logical value of frequency is more than 50%

α \ V	0 cm/sec	5	10	15	20
0.05	×	×	×	×	○
0.10	×	×	○	○	○

3.3　流水時の対物行動

3.3.1　日内行動変化

流水条件下での対物行動を解析する基礎として供試魚の日内遊泳行動変化の有無を静水条件下で調べた。模型は角柱型を用い，投餌時間を基準として，投餌前 1～2 時間，投餌後 1～2 時間，および投餌後 5～6 時間の 3 つの時間帯を設定，各ブロックでの滞泳頻度を調べた。なお，投餌時間は 9 時とし，測定終了時まで追加投餌は行なわなかった。また，測定は各 2 回行った。

付図 2 に示すように，各時間帯とも模型上方部を中心として水槽前半部，後半部を往来し，模型への接近行動には乏しい。

各時間帯での水槽前半部および水槽上半部の滞泳頻度は表 2 に示す通り前者が 45.1～50.0%，後者が 69.2～83.9% と時間帯による差は小さく，摂餌からの経過時間による行動上の変化は測定時間から除外した夜間時を別にして，ほとんど生じないと判断された。

表 2　時間帯と水槽前半部，上半部滞泳頻度の関係，角柱型模型，下方設置

Staying frequency in the front half and in the upper half of the channel in each time in case that the pillar type model is set on the pillar type model is set on the bottom in the center of the channel

Hour \ Frequency	Front half	Upper half
1～2 hr before feeding	47.7%	83.9%
1～2 hr after feeding	50.0	77.6
5～8 hr after feeding	45.1	69.2

3.3.2　流水条件下対物行動

a．下層設置

角柱型，円柱型，板型の 3 種の模型について静水および 5, 10, 15, 20 cm/sec の流速下での供試魚の対物行動を測定した。測定は各流速 1 回とした。

(角柱型)……静水条件においては付図 2 で示されたと同様に模型上方部を中心に水槽前，後半部を往復遊泳するが，流速の増加とともに付図 3 に示すように模型を中心に下方部で遊泳する頻度の高くなる傾向が見られる。また，流水時の真のブロック別滞泳頻度を純流動時滞泳頻度として，各流速時ブロック滞泳頻度——静水時ブロック滞泳頻度，で求め，流速別に付図 4 に示した。同図は頻度が ＋ になったブロックを示すが，模型の直上部あるいは下流側で高い値が見られ，供試魚が流水条件になると見かけ上模型に接近する傾向にあることが認められる。

(円柱型)……付図 5, 6 に示すように，角柱型の場合と異なり，模型の前後で滞留頻度が高くなるが，下方への移動は少ない。純流動時滞泳頻度についてもほぼ同様で，流速の増加とともに模型上方の前，後部で高い値が見られる。

(板型)……付図 7, 8 に示すように，流速の増加とともに模型前方および下流域で滞泳頻度が高くなっている。純流動時滞泳頻度についても同様な傾向が見られ，流速 15, 20 cm/sec ではとくに模型前方部で高くなっている。

次に，各流速での模型との係わり方を定量化するため以下の手順で接近行動指数の計算を行った。

1)　図 9 に示すように，模型を設置したブロックを 10 として，同ブロックから等間隔の各ブロックに順次

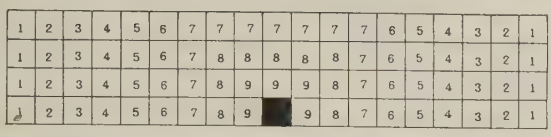


図 9　模型への接近度指数　水槽下部模型設置

Approaching category index to the model set on the bottom in the center part of the channel

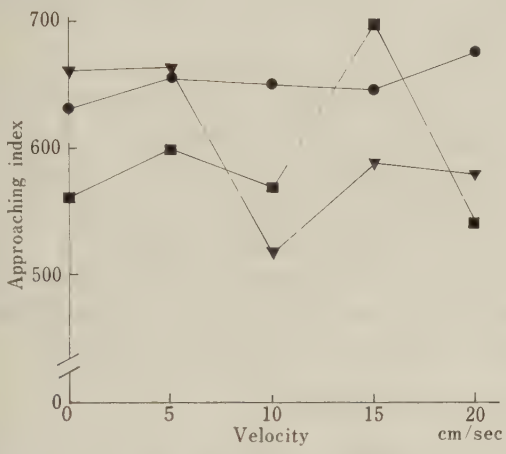


図 10　各模型下方設置での接近行動指数と流速の関係
■ 角柱型　● 円柱型　▼ 板型

The relation between current velocity and appoaching movement index in case that the model is set on the bottom in the center of the channel. Pillar type (■), columnar type (●) and plate type (▼)

9～1 までの段階を設定し，模型への接近度指数とする。

2)　供試魚の模型接近行動を下式によって指数化する。

接近行動指数＝∑ 各ブロック滞泳頻度（%）
×各ブロック接近度指数

図 10 に各模型での流速と接近行動指数の関係を示した。

流速と同指数の関係は模型によって異なり，角柱型では静水時に対し 5，10 cm/sec では漸増，15 cm/sec では 699.01 と急増し，最大となるが，20 cm/sec では 542.14 と急減している。

円柱型では変化が小さく，流速の増加につれて漸増し，20 cm/sec で 680.25 と最大になる。板型では 5 cm/sec で微増するが 10 cm/sec では 528.31 と大幅に減少し，最小となる。

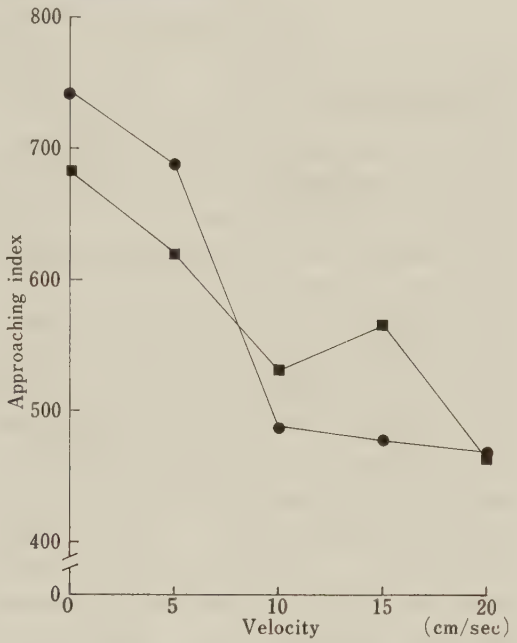


図 11　各模型中層設置での接近行動指数と流速の関係
■ 角柱型　● 円柱型

The relation between current velocity and appoaching movement index in case that the model is set on the middle layer in the center of the channel. Pillar type (■) and columnar type (●)

b．中層設置

角柱型と円柱型について測定を行った。設定流速，測定回数については下層設置と同様である。

(角柱型)……付図 9 に示すように 5 cm/sec までは模型上方を通路として前方部，後方部を往復遊泳するが，10 cm/sec 以上では次第に後方部での滞泳頻度が高くなり，20 cm/sec では後方の下側部が主体となっている。

この傾向は付図 10 の純流動時滞泳頻度では一層明確に示され，同模型の下層設置の場合とやや異った様相を呈している。

(円柱型)……付図 11 に示すようにほぼ角柱型と同様の頻度分布となるが，10 cm/sec から後方部中下層を主体として滞泳頻度が高くなっている。純流動時滞泳頻度も図 11 のごとく，明瞭にこの傾向を表わしている。

接近行動指数は図 11 のように両模型の場合とも静水時がもっとも大きく，流速の増加とともに減少する傾向が顕著で，下層設置の場合の変化傾向とは違っている。

4. 考　　察

4.1 走流性の解析

流水中に生息する魚類にとって走流性は生息適水域に定位する上で重要な機能[1]の一つと考えられる。今回の測定からもマダイ幼魚が強い走流性を有することが明らかであり，流水条件下におかれた場合には走流性が発現して定位，遊泳すると理解される。

ただし，走流行動は恒常的に続くのではなく，図6のように間歇的に負の走流性に転ずる現象が見られることから，遊泳行動の経過時間と関連性を有することが推定される。図5に示されたように，測定開始後 10 分間はとくに負の走流性を示す頻度が高い。この傾向は供試魚の耐流能力の強さと表裏の関係にあり，図7のように同時間帯で供試魚は水槽前方で滞泳する，即ち，上流部への移動，定位をはかっている。しかしながら，上流部での滞泳に要する生理的活力が限界に達すれば，供試魚は滞泳を中断し，負の走流性に転じて一旦後方部に押し流されるものと解釈される。

測定開始後10分間の負の走流性の頻度は平均27.7秒に1回であった。したがって，20 cm/sec の流れに対してマダイ幼魚は 30秒前後定位したのち，一旦，負の走流性に転じて後方部に漂流し，活力の回復後再たび上流部への移動，同部分での定位という行動パターンを繰りかえすと考えられる。この点は図3において測定開始後15分間は水槽前半部と後半部を頻煩に往来する軌跡が描かれていることからも理解し得よう。

4.2 耐流性の解析

遊泳速度の測定方法は遊泳速度の定義自体が未だ不確定な点もあり，必らずしも一定していない。マダイ幼魚の耐流性は図5に示されたごとく遊泳時間の経過とともに低下しており，測定時間の定め方で変動する性質を有している。通常耐久速度は 30～60 分間の測定結果により表わされるが，今回の測定では便宜的に 30 分間の水槽前半部滞泳頻度を指標として求めた。

本方法では耐泳時の水槽前半部滞泳頻度の理論値を 50% 以上としてあるため，静水時供試魚が何らかの理由で主として水槽後半部で滞泳してしまう場合には測定が不能となる。したがって，供試魚の静水時の水槽内での行動が at random であるか否かをチェックする必要がある。

今回用いた試供魚は静水時，76 ブロック中 55 ブロックを 0.54～3.78% の頻度で比較的平均して滞泳している。また，前半部滞泳頻度も 48.9% と 50% に近い等の諸点からほぼ上記条件は一応満足されていると判断されよう。

なお，本測定により，供試魚の耐久速度は危険率 0.10 で 10 cm/sec，同 0.05 では 20 cm/sec と求められた。供試漁の体長が 7.7 cm であったので前者で体長の 1.30 倍，後者で 2.60 倍となる。他魚種の測定例[1]では体長の2～3倍を示すことが多く，危険率を小さくとる点も勘案すると，後者を供試魚の耐久速度と考えるのが妥当であろう。

本結果にしたがうと，体長 10 cm 未満のマダイ幼魚が海中において 20 cm/sec 以上の潮流下に置かれた場合には耐流限界を超えて定位が不可能となり，潮下側に押し流される危険がある。マダイ幼魚にとって生息適水域から離れることは以降の成長にマイナスになろう。仮に潮通しの良い水域が餌料条件，水質条件上マダイ幼魚の生息に適しているとすれば，マダイ幼魚の耐流性を基準とし，前記2条件を損なわない方法で緩流施設を設置することも同魚種の増殖上検討されるべきであろう。

4.3 流水時の対物行動

マダイは魚礁性の弱い魚種に属すると考えられているが，今回の測定においても静水時の模型への接近頻度は小さく，少なくとも模型に対する走触行動はほとんど認められなかった。ただし，模型非設置時，設置時の供試魚の水槽内での行動は明らかに傾向を異にしている。即ち，前者の場合には下層部を除けば水槽内をほぼ均等に移動するのに対し，後者の場合にはいずれの模型についても設置の上方部を中心として前後を往復移動する傾向が顕著である。

この相違から供試魚は模型を視覚上の基準として移動を行うことが推察される。水槽のように視覚刺激に乏しい条件下においては模型のような単純な構造物でも行動，定位の基準として有効であると考えられる。マダイ幼魚が環境の単調な水域，たとえば砂底域に移動した場合には適当な施設の存在が行動上の座標軸の原点としての役割りを果すことが考えられよう。

流水条件下での行動も模型設置時と非設置時とでは異なっている。まず，垂直方行に関しては明らかに模型設置時，水槽下方部に移動する傾向がある。この傾向は模型設置時の流水条件下でも認められ，静水条件下に比較して水槽下方部での滞泳頻度が高くなっている。

一方，水平方向に関しては流速の増加に伴い，模型周辺部で滞泳する傾向が認められる。その度合いは模型の種類および設置位置で異なっており，角柱型の下層設

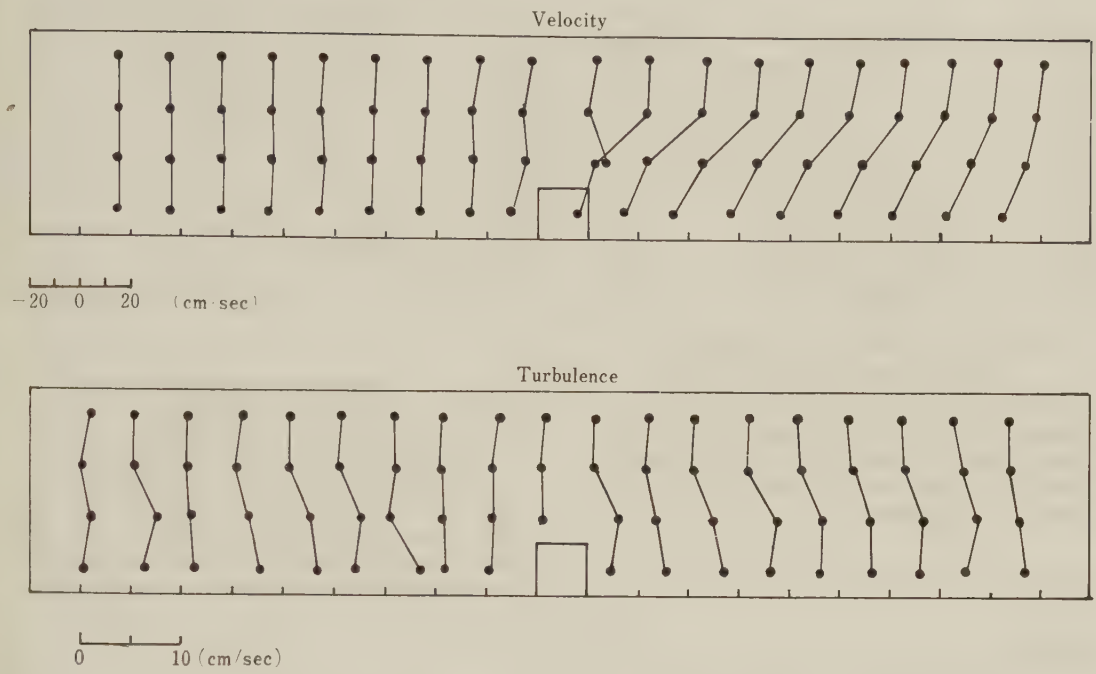


図 12　ブロック別流速分布（上図）および乱れ度分布（下図）
設定流速 15 cm/sec，角柱型，下方設置

The upper figure shows distribution of current velocity and the lower figure distribution of turbulence in case that current velocity is set up to 15 cm/sec and the pillar type model is set on the bottom in the center of the channel

置，流速 15 cm/sec でもっとも顕著である。この点は図 18 の接近行動指数に表わされており，今回試みた接近行動の定量化は一応評価されよう。ただし，水槽の水深が 40 cm/sec と左右方向 190 cm に対して小さかったため，垂直方向の移動が水平方向に比べ過少に定量されている可能性がある。模型への接近行動は垂直，水平両方向から均等に定量されるべきであり，この点で今回の接近行動の定量化に関しては水深，長さ，奥行がほぼ同等の水槽を用い，妥当性を検討する必要があろう。

なお，各流速時の滞泳頻度分布が静水時とどの程度異なるかについては静水時の頻度分布を差し引いた純流水時頻度分布によって表わされる。接近行動指数のもっとも高かった角柱型模型，下層設置での流速 15 cm/sec での場合を例にとると，付図 4 に見られるように同頻度は模型直上部から後方部にかけて高くなっている。即ち，同流速下で供試魚は静水時に比べ模型に接近する度合の高まることを意味する。

図 12 は同条件下を直径 10 mm のプロペラ式流速計で測定した各ブロック中心部の流速と乱れ度の分布を示す。流速は模型前端部から変化が生じ，模型後方部では縮流されて上半部は 18～28 cm/sec まで加速するが，逆に下半部は 15 cm/sec 以下に減速している。とくに，底面上では模型後方 5 ブロックまで −0.9～−6.8 cm/sec の逆流状態になっている。一方，乱れ度は流速と反対に下半部で大きくなり，とくに模型後方で変化が著しい[4]。

供試魚の行動と流れ条件との関連性を検討するため，各ブロック中央の流速と滞泳頻度との関係を図 13 に，同じく乱れ度と滞泳頻度の関係を図 14 に示す。両図から下記の点が特徴として挙げられる。

① 流速約 17 cm/sec 以上では滞泳頻度が 0% となる。

② 流速 2 cm/sec および 14 cm/sec 前後に高い滞泳頻度が認められる。

③ 乱れ度 1.5 cm/sec および 2.8 cm/sec 前後に高い滞泳頻度が認められる。

これらの諸点をさらに明確にするため，流速では 2 cm/sec，乱れ度では 0.5 cm/sec のレンジをとり，各レンジでの累積滞泳頻度，および同値を各レンジのブロック数で除したブロックあたり平均滞泳頻度を求めた。図 15 には流速レンジで，図 16 には乱れ度レンジで示した累

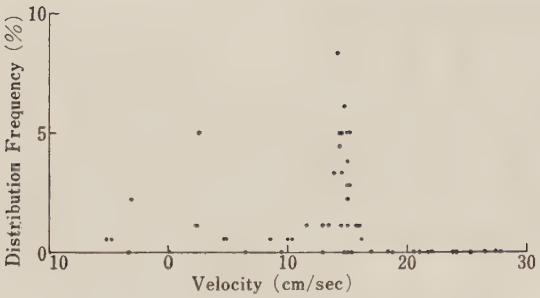


図 13 ブロック別の流速と滞留頻度の関係
設定流速 15 cm/sec, 角柱型, 下方設置

The relation between current velocity and staying frequency in each block in case that current velocity is set up to 15 cm/sec and the pillar type model is set on the bottom in the center of the channel

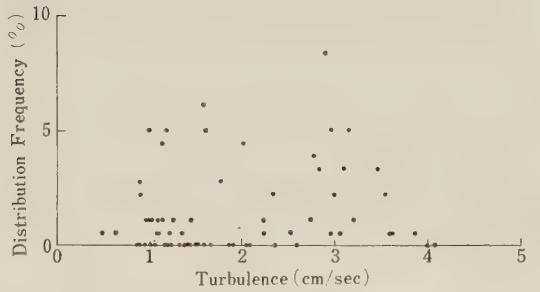


図 14 ブロック別の乱れ度と滞留頻度の関係
設定流速 15 cm/sec, 角柱型, 下方設置

The relation between turbulence and staying frequency in each block in case that current velocity is set up to 15 cm/sec and the pillar type model is set on the bottom in the center of the channel

積頻度と平均頻度を示す。

まず, 流速レンジでは 2～4 cm/sec および 12～16 cm/sec に累積頻度のモードが明確に認められる。また, 平均頻度では −2～0 cm/sec と 12～14 cm/sec にモードが認められる。

一方, 乱れ度については累積頻度のモードが 1.0～1.5 cm/sec および 2.5～3.0 cm/sec にやはり明確に認められる。平均頻度は累積頻度ほど明確ではないが 0.5～1.0 cm/sec および 2.5～3.0 cm/sec に認められる。

以上の諸点から滞泳頻度が流速あるいは乱れに関し単一の関係を持たず, bi-mode の関係にあることが明らかであり, 供試魚は設定流速に応じ, 模型の設置によって生ずる水槽内の流速および乱れ度の変化に対してみかけ

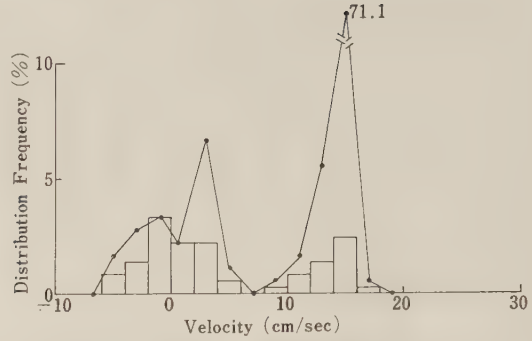


図 15 流速範囲別の累積滞留頻度（黒丸）とブロックあたり平均滞留頻度
設定流速 15 cm/sec, 角柱型, 下方設置

Accumulative staying frequency (black circle) and average staying frequency per a block in each range of current velocity is set up to 15 cm/sec and the pillar type model is set on the bottom in the center of the channel

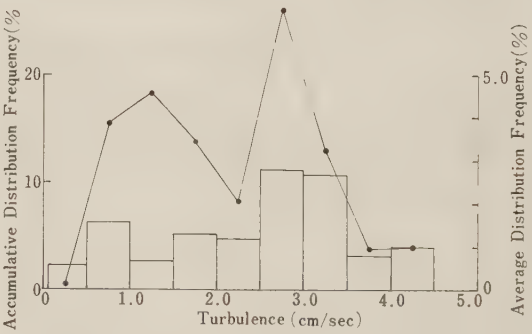


図 16 乱れ度範囲別の累積滞留頻度（黒丸）とブロックあたり平均滞留頻度
設定流速 15 cm/sec, 角柱型, 下方設置

Accumulative staying frequency (black circle) and average staying frequency per a block in each range of turbulence in case that current velocity is set up to 15 cm/sec and the pillar type model is set on the bottom in the center of the channel

上選択性を有することが推定されよう。

このように滞泳頻度と流速, 乱れ度に bi-mode の関係が生ずるのかについてはなお多くのケースでの測定によって確認の必要があるが, 前述耐流性の解析での結果を勘案すると一応以下の点が推論されよう。

即ち, 今回の供試魚の耐流速度が表 2 に示したごとく 20 cm/sec 前後にあり, 流速 14～16 cm/sec のモードは耐流速度に近い速度での継続的な走流行動を示してい

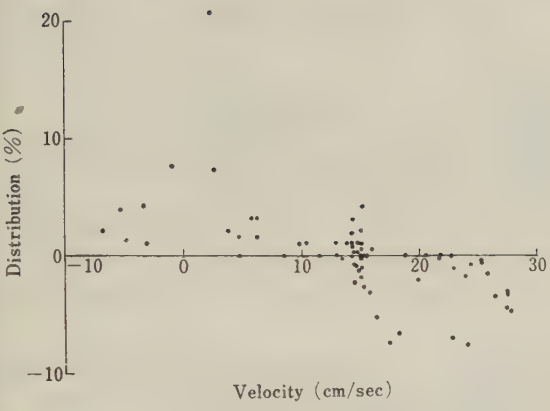


図 17　各ブロック流速と純流動時滞留頻度の関係設定流速 15 cm/sec，角柱型，下方設置

The relation between current velocity and net staying frequency in flow condition in each block in case that current velocity is set up to 15 cm/sec and the pillar type model is set on the bottom in the center of the channel

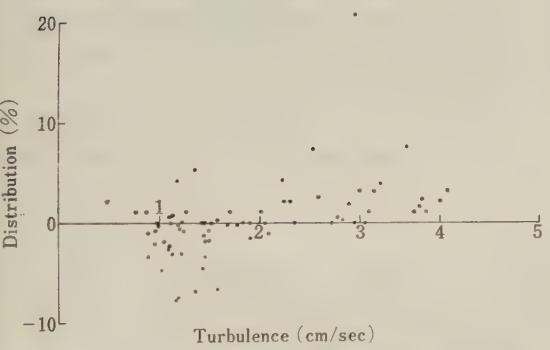


図 18　各ブロック乱れ度と純流動時滞留頻度の関係設定流速 15 cm/sec，角柱型，下方設置

The relation between turbulence and net staying frequency in flow condition in each block in case that current velocity is set up to 15 cm/sec and the pillar type model is set on the bottom in the center of the channel

ると見られる。この点は図 13 において 17 cm/sec 以上では滞留が測定上は皆無であった点とも関連し，供試魚が耐流速度以上の流速域は避けるか，滞留が困難になることが推察される。したがって，耐流限界に準ずる 14～16 cm/sec の流速域で走流性がもっとも強く発現し，滞泳頻度が高くなると考えられる。

他方，流速 −2～0 cm/sec でのモードは同流速が模型後方域のブロックでの流速に相当することから明らかに供試魚の非走流状態，恐らく前述 14～16 cm/sec を

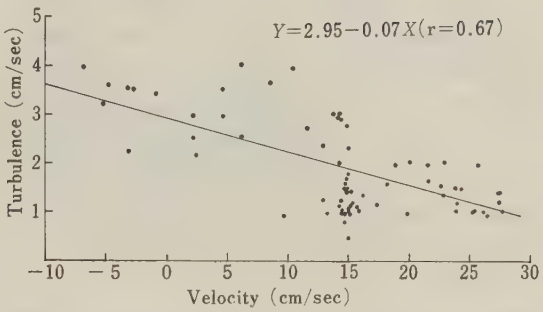


図 19　流速と乱れ度の関係
設定流速 15 cm/sec，角柱型，下方設置

The relation between current velocity and turbulence in case that current velocity is set up to 15 cm/sec and the pillar type model is set on the bottom in the center of the channel

中心とする走流行動からの休止状態を表わすと考えられる。

この点は同じ条件下での図 17 の流速と純流動時滞泳頻度，図 18 の乱れ度と同頻度との関係においても示される。まず，流速に対し同頻度は 15～16 cm/sec 以上では 0 か負，以下では 0 か正となっている。乱れ度に対しては 2 cm/sec 以上で 0 か正，以下では 0 か負の値が多くなっている。

これらの関係から供試魚が流速 15～16 cm/sec 以上，乱れ度で 2 cm/sec 以下の流水域を避け，相対的に乱れ度の大きい緩流域に分布する傾向にあることが理解されよう。

以上の走流行動と休止行動の関連性については今後筋各種流速条件での供試魚の電図あるいは酸素要求量等の測定により，疲労および代謝の観点[5)6)7)]からの検討を要しよう。

なお，各ブロックでの流速と乱れ度との関係を図 19 に示すが両者は逆相関の関係にある。直線回帰として相関係数 0.67 と中程度の相関であるため断定は困難であるが流速と乱れ度の双方で認められた滞泳頻度の bi-mode 現象は本質的には相互に同義であることが推察される。したがって，流速 −2～0 cm/sec でのモードは乱れ度での 2.5～3.0 cm/sec でのモードに，また，流速 14～16 cm/sec でのモードは乱れ度 0.5～1.0 cm/sec でのモードに該当すると考えられる。

5. 結　　語

マダイ幼魚の遊泳行動に関する基礎的実験を行ったがマダイ幼魚にとって流動環境は多くの環境要因のうちの

一つに過ぎず，流動環境のみでその存在様式を規定することには無理があろう。しかしながら，索餌，避敵といった生残，成長上に極めて重要な行為に関し，遊泳行動が強く関与していることも確かである。たとえば，マダイ幼魚は1日あたり体重の約 20% に相当する餌料を摂るとされており，この期の主要な餌料にあたる端脚類を1個体 5 mg とすれば，単純計算でも体重 5～10 g の幼魚で約 200～400 個体を索餌する必要がある。

天然条件下での索餌その他に要するエネルギーは飼育条件下よりも多いと考えられるところから，マダイ幼魚の迅速な成長には十分な餌料密度が確保されるか，エネルギー消費を極力少なくする効率的な遊泳行動をとることが必要となる。前者については栄養生理，摂餌生態の観点からある程度の調査が行なわれているが，後者の代謝生理，行動生理からの研究は比べるに非常に少ない。

マダイをはじめとする遊泳性魚類の増殖施設，魚礁に関連する問題については今後移動行動上の座標軸としての役割り，あるいは流動環境の適正化と言った点からの調査が求められよう。

最後に本論作成にあたり供試魚を御提供戴いた神奈川水産試験場，実験にあたり御助力戴いた日本大学卒業生中島章博氏，東海大学学生 上山裕美氏，同じく森田徹氏，水産土木工学部日向野純也氏，また，論文校閲ほか御指導戴いた水産土木工学部中村部長，等の方々に深謝いたします。

また，魚類遊泳行動に関する諸知見諸文献を御提供戴いた東京大学海洋研究所，梶原教授に御礼申しあげます。

参考文献

1) 井上 実：魚の行動と漁法，恒星社厚生閣，25～29，1979

2) 塚本勝己・梶原 武：魚類の遊泳速度と遊泳能力，水産土木 10(1)，31～36，1973

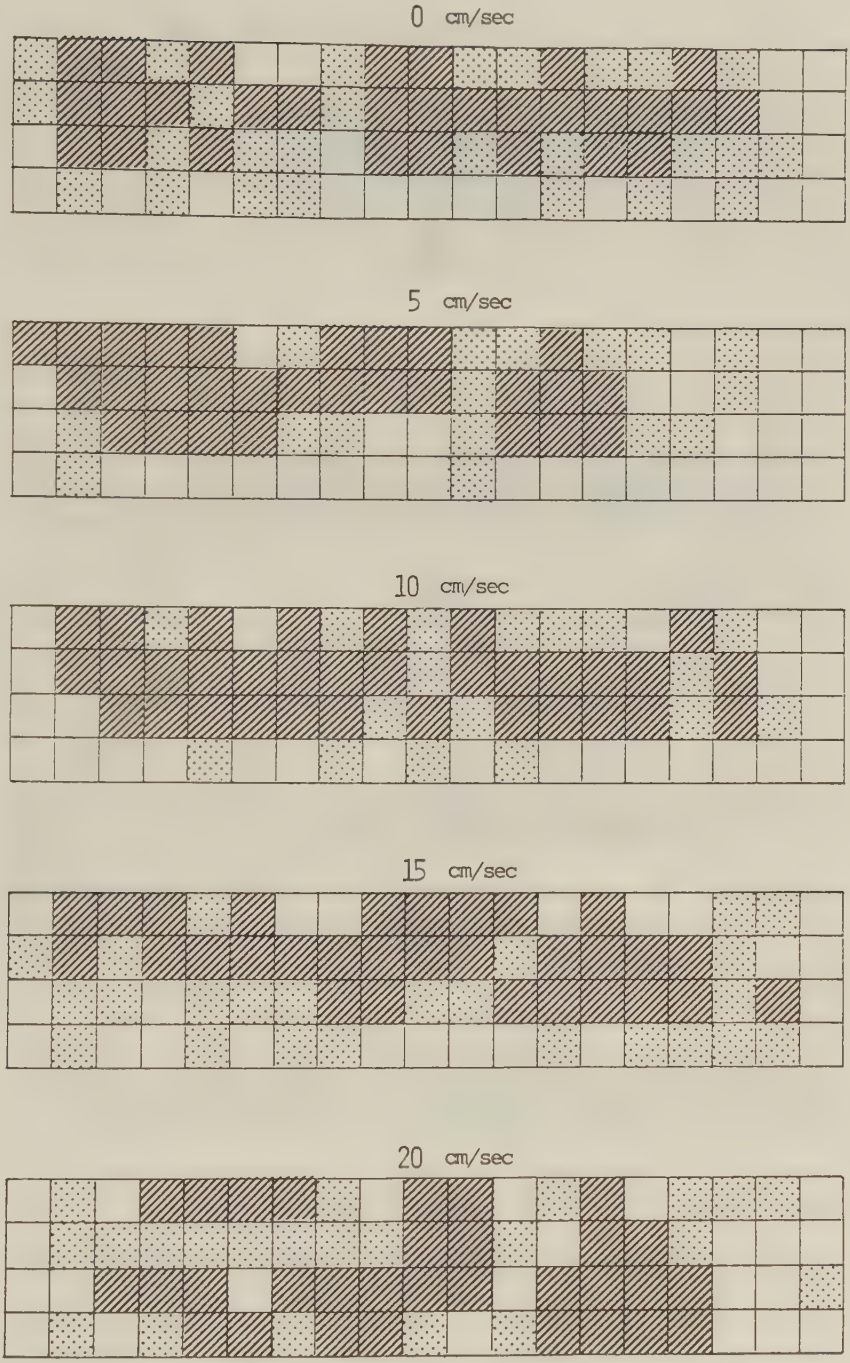
3) 山口正男：タイ養殖の基礎と実際，恒星社厚生閣，414，1978

4) 杜多 哲：後流中の物質分散に関する研究—濃度を指標としてみた後流域の特性と交換率の評価—，水工研報告 No. 3，13～24，1982

5) J. R. Brett : The Respiratory Metabolism and Swimming Performance of Young Sockeye Salmon, J. Fish. Res. Canada, 21(5), 1184～1226, 1964

6) J. R. Brett : The relation of Size to Rate of Oxygen Consumption and Sustained Swimming Speed of Sockeye Salmon (*Oncorhynchus nerka*), J. Fish. Res. Bd. of Canada 22(6), 1491～1501 1965

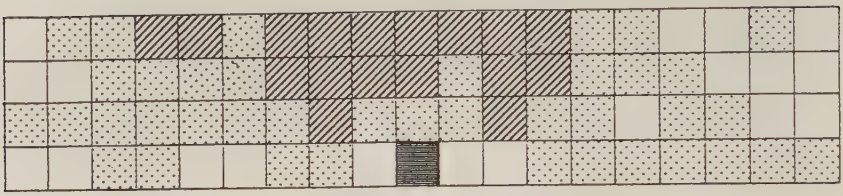
7) P. W. Webb : Hydrodynamics and Energetics of Fish Propulsion, B. of the Fish. Res. Bd. of Canada, 109～119, 1975



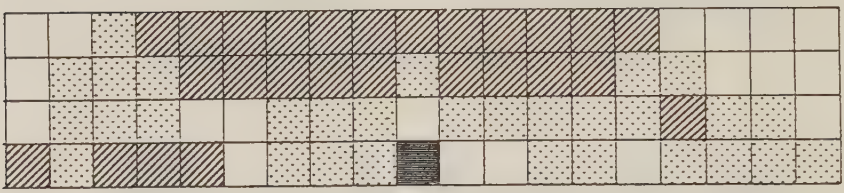
付図 1　非流動時および流動時のブロック別滞留頻度
斜線部≧1.32%，0<斑点部<1.32%

Staying frequency in each block in flow condition and in none flow condition.
Oblique line block ≧1.32%，0<spotted block<1.32%

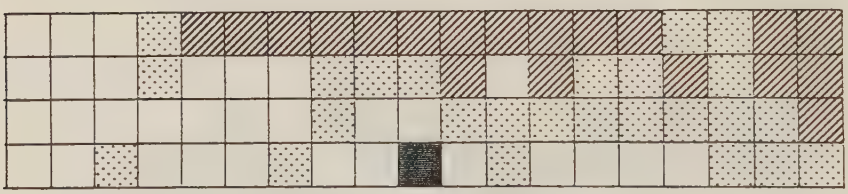
1～2 Hour before feeding



1～2 Hour after feeding

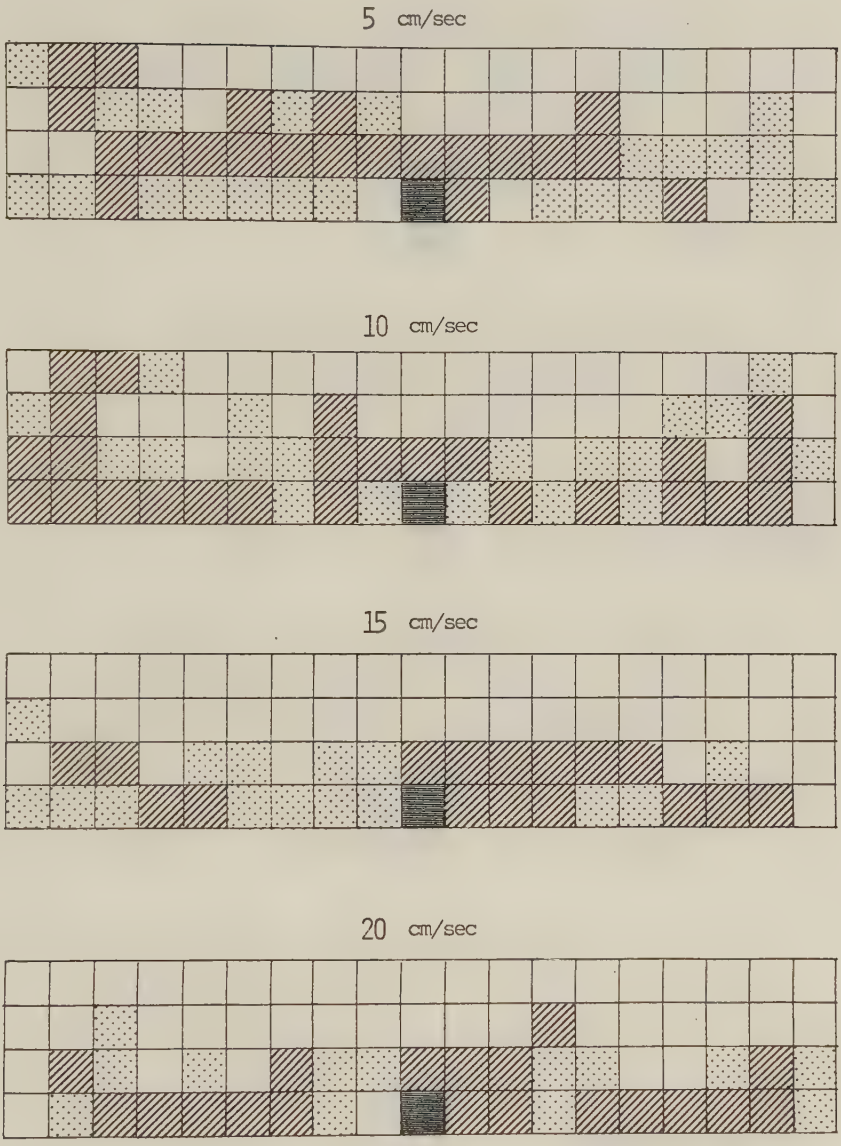


5～6 Hour after feeding



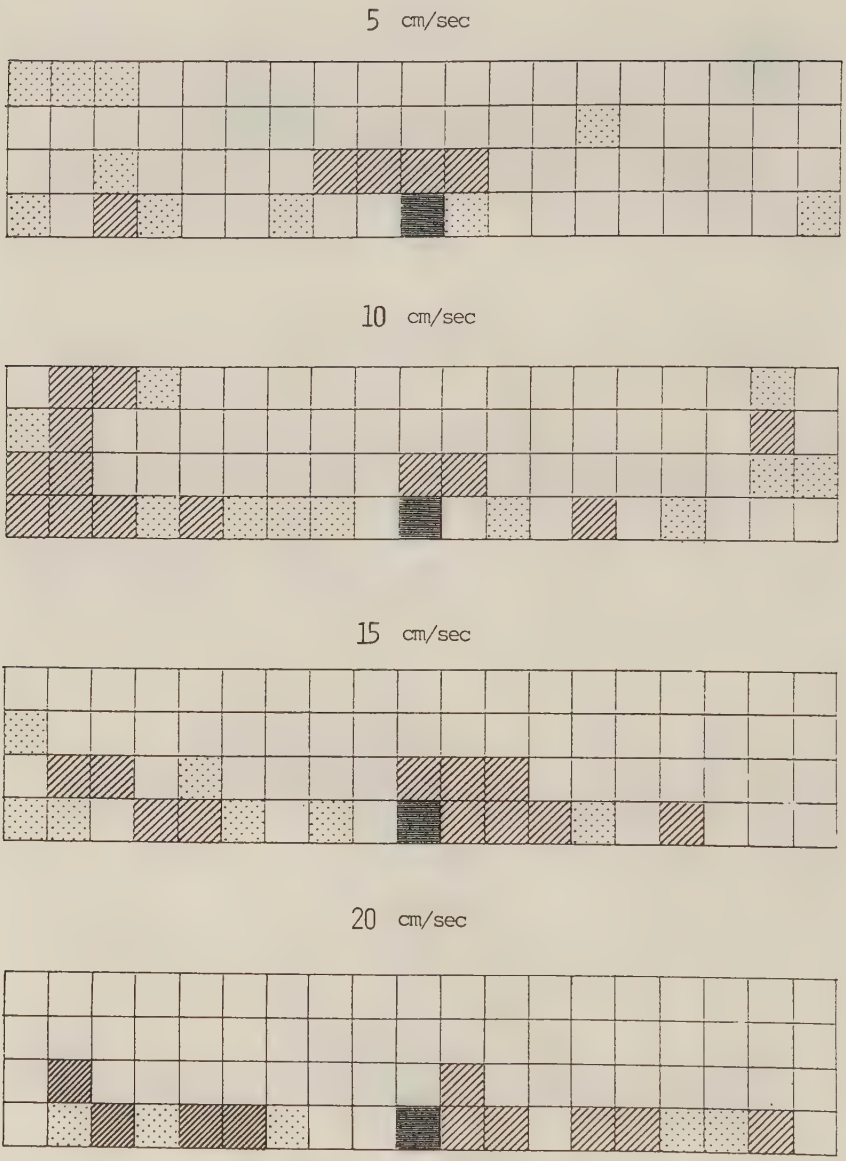
付図 2 非流動時のブロック別滞留頻度
水槽中央下部，角柱型模型設置

Staying frequency in each block in none flow condition in case that the pillar type model is set on the bottom in the center of the channel



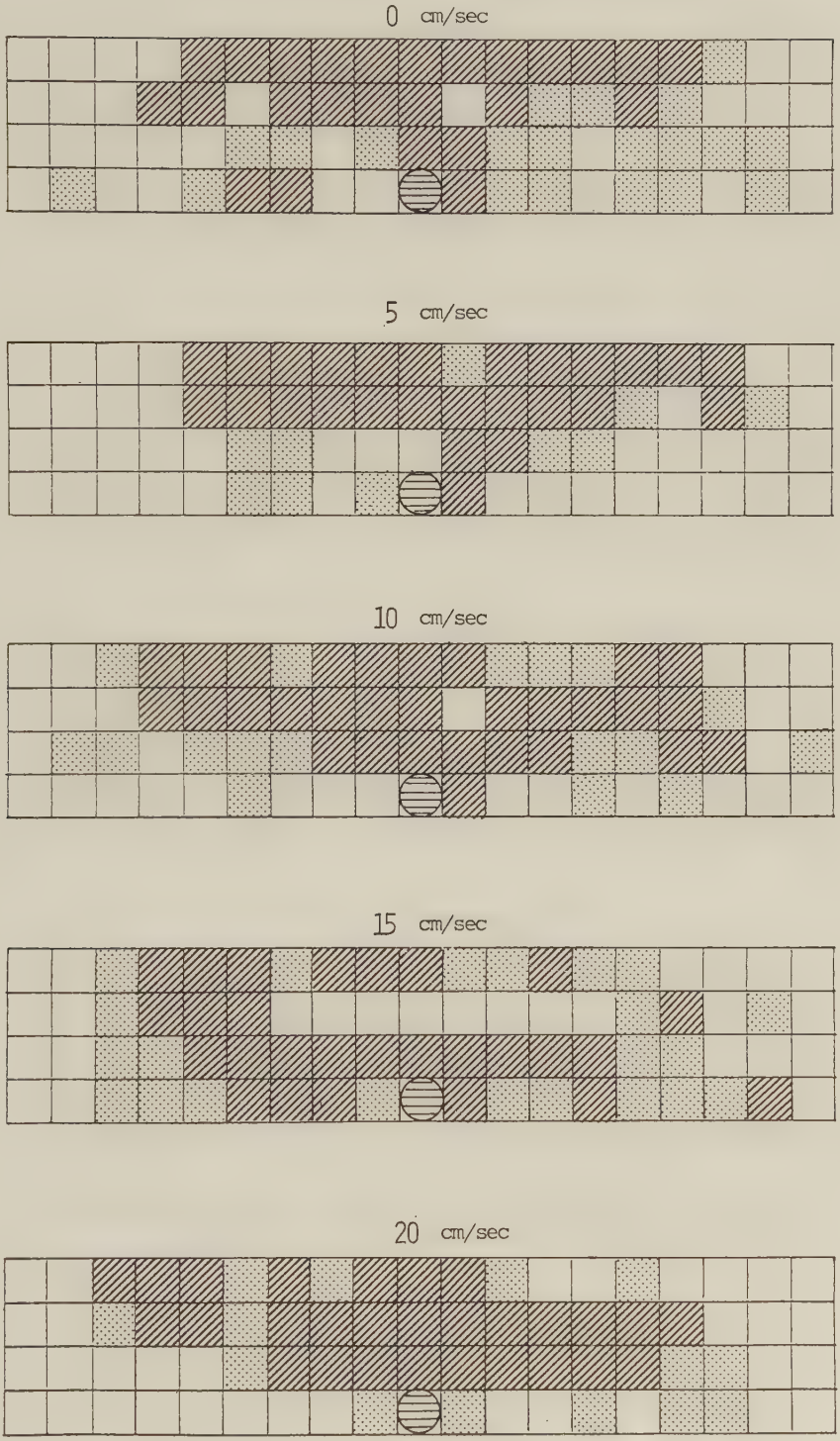
付図 3 流動時のブロック別滞留頻度
水槽中央下部模型設置，角柱型

Staying frequency in each block in flow condition in case that the pillar type model is set on the bottom in the center of the channel



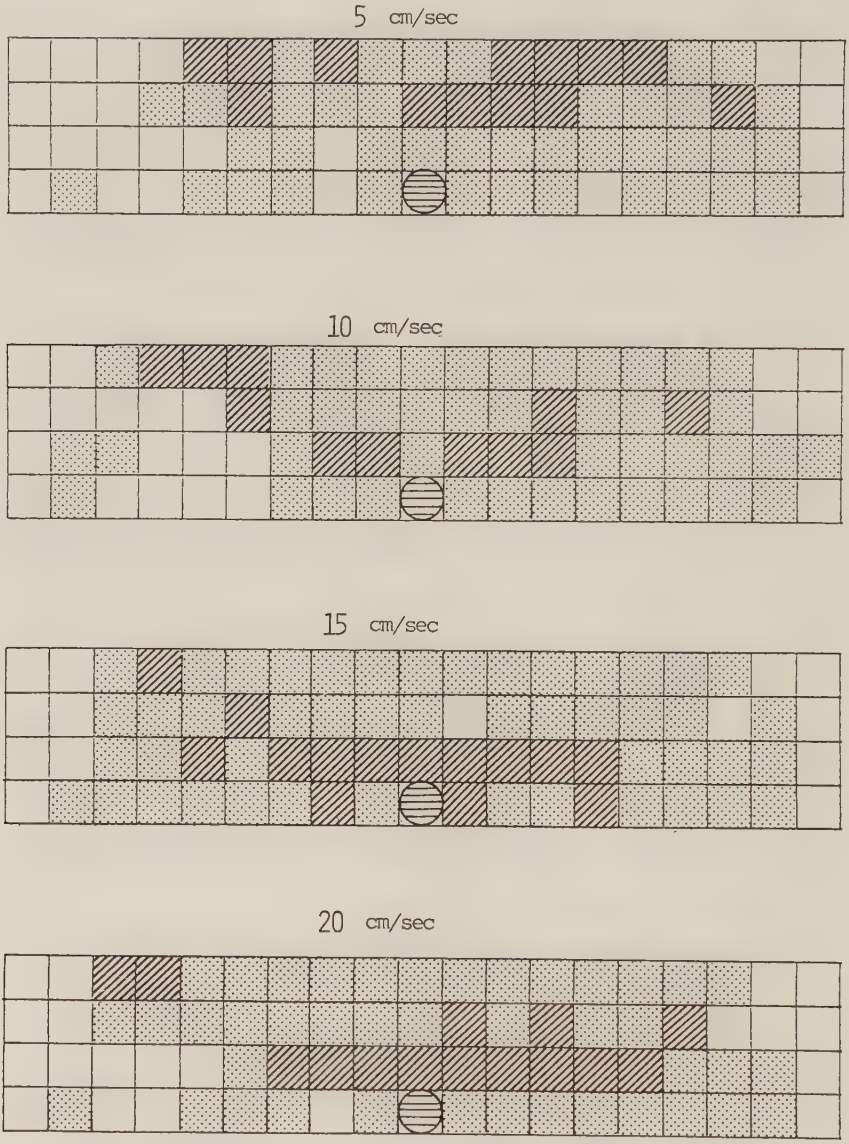
付図 4 純流動時ブロック滞留頻度（流動時ブロック別滞留頻度—非流動時ブロック別滞留頻度）
水槽下部模型設置，角柱型

Net staying frequency in each block in flow condition in case that the pillar type model is set on the bottom in the center of the channel. Net staying frequency is equal to staying frequency in flow condition minus staying frequency in none flow condition



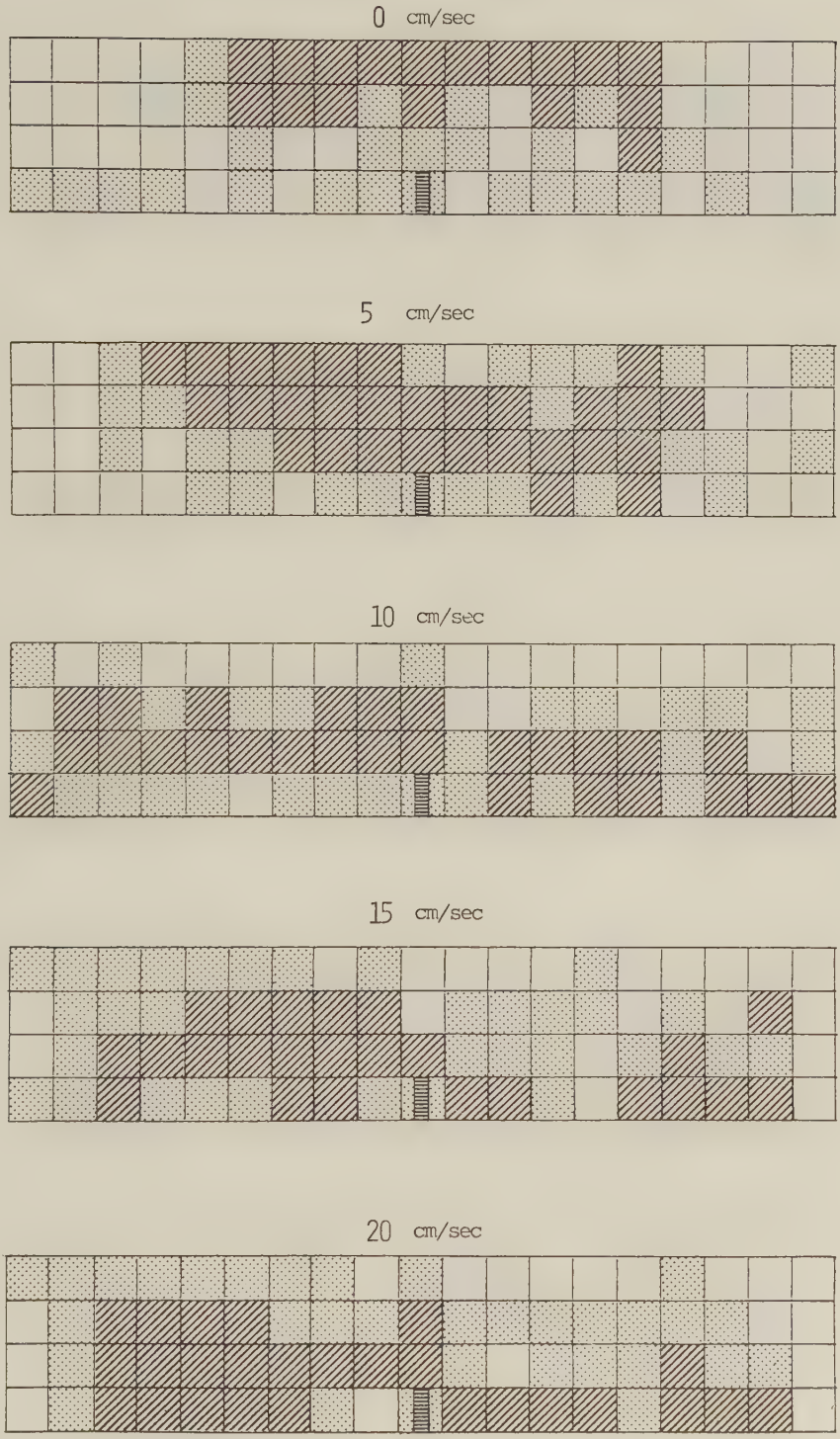
付図 5 各流速でのブロック別滞留頻度 下方設置，円柱型

Staying frequency in each block in each current velocity in case that the columnar type model is set on the bottom in the center of the channel



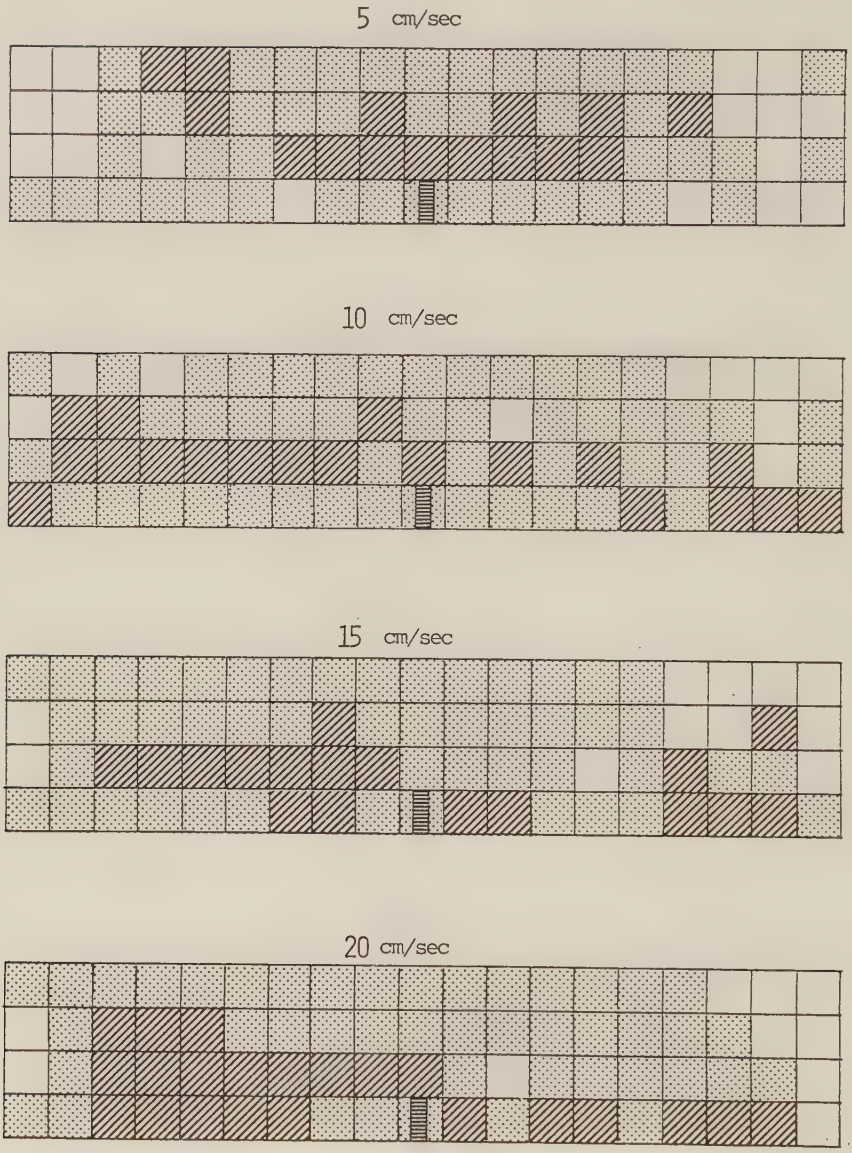
付図 6 純流動時ブロック別滞留頻度 円柱型，下方設置

Net staying frequency in each block in case that the columnar type model is set on the bottom in the center of the channel



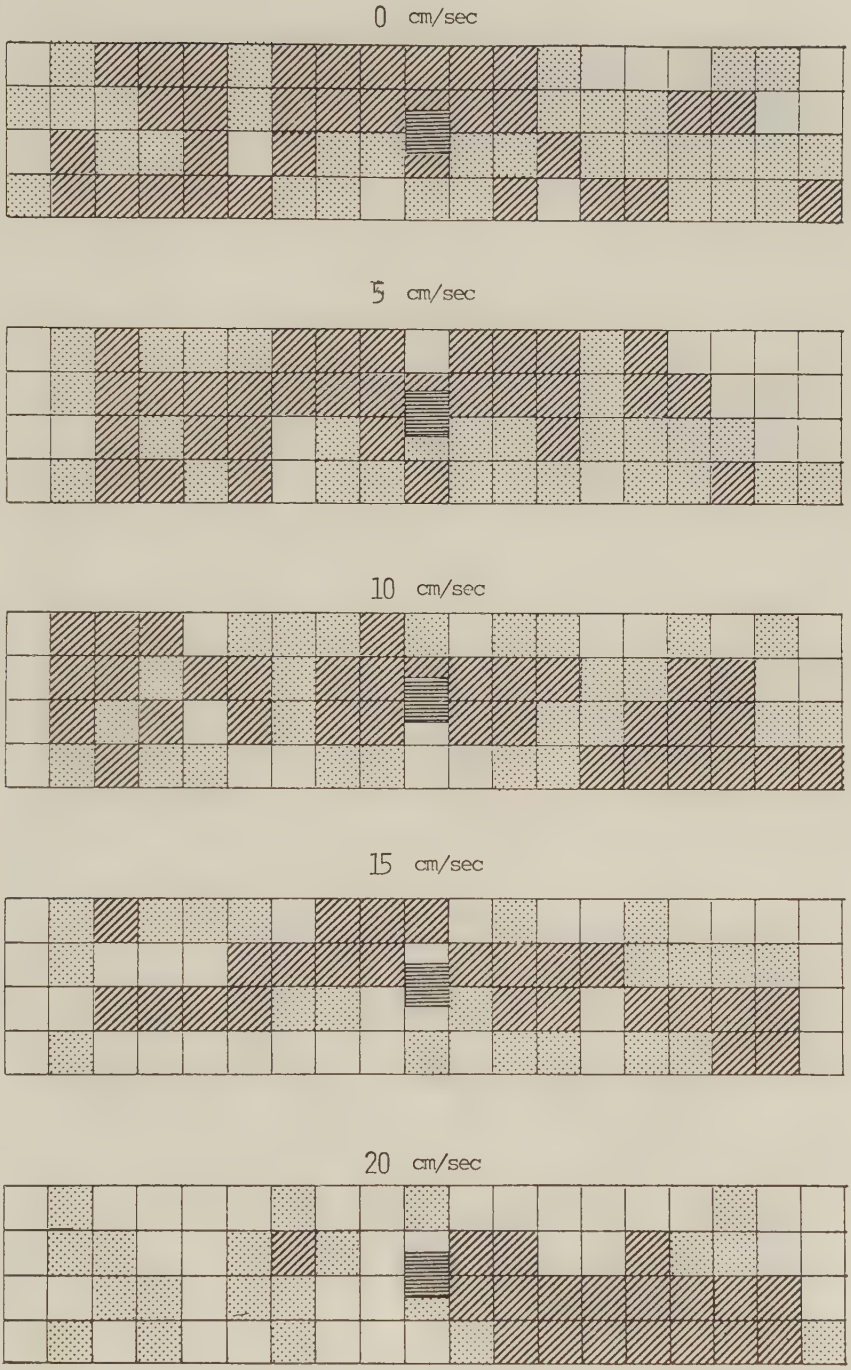
付図 7 各流速でのブロック別滞留頻度 下方設置，板型

Staying frequency in each block in each current velocity in case that the plate type model is set on the bottom in the center of the channel



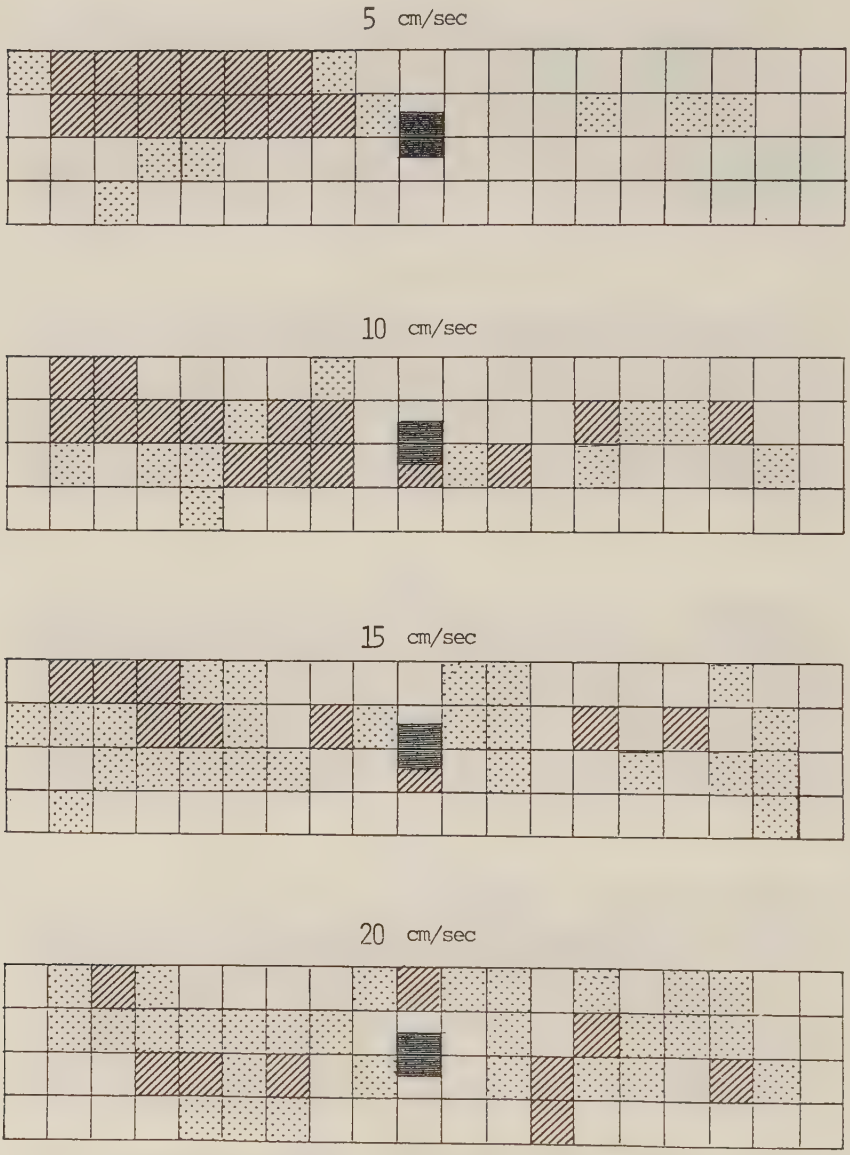
付図 8 純流動時ブロック別滞留頻度 板型，下方設置

Net staying frequency in each block in case that the plate type model is set on the bottom in the center of the channel



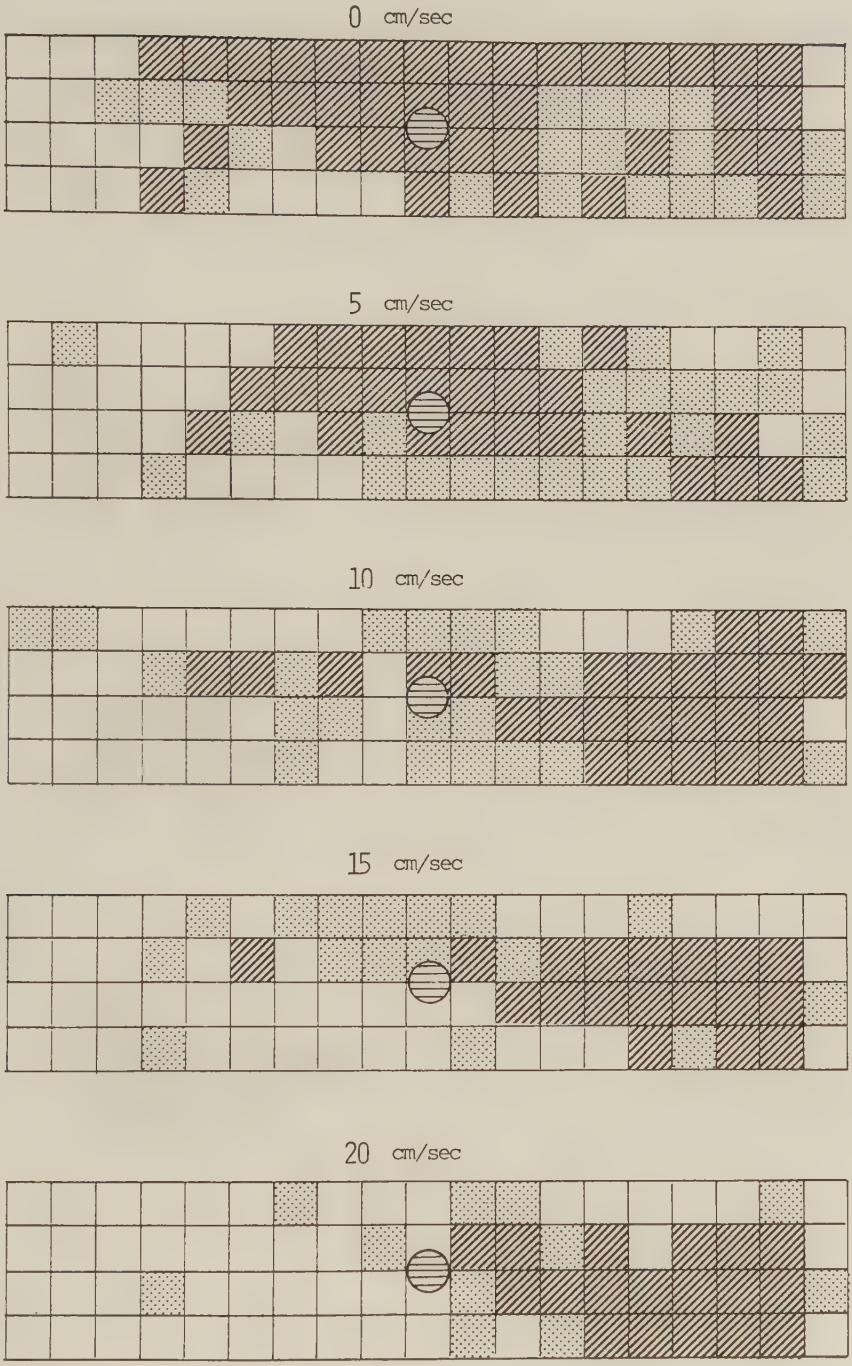
付図 9 各流速とブロック別滞留頻度 角柱型，中層設置

Staying frequency in each block in each current velocity in case that the pillar type model is set in the middle layer in the center of the channel



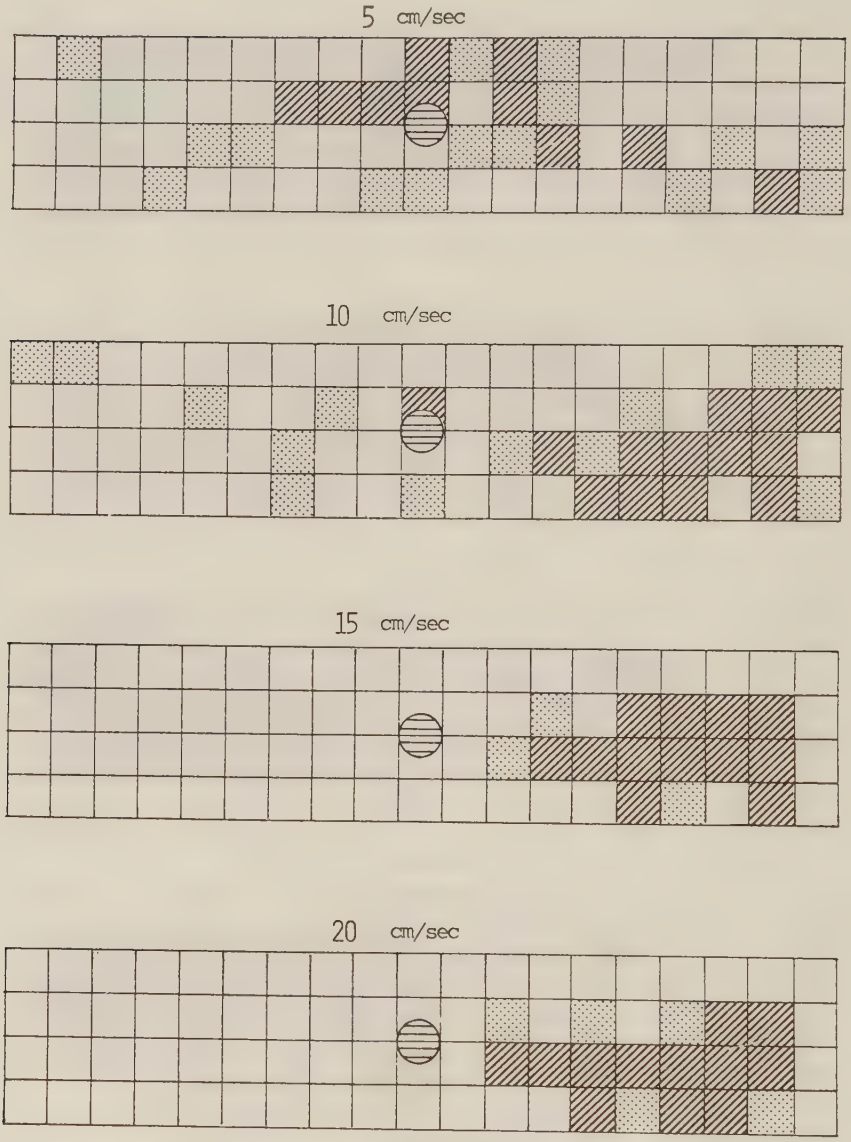
付図 10 純流動時ブロック別滞留頻度 中間部設置，角柱型

Net staying frequency in each block in case that the pillar type model is set in the middle layer in the center of the channel



付図 11 各流速でのブロック別滞留頻度 円柱型，中層設置

Staying frequency in each block in each current velocity in case that the pillar type model is set in the middle layer in tue center of the channel



付図 12 純流動時ブロック別滞留頻度 円柱型，中層設置

Net stayiug frequency in each block in case that the pillar type model is set in the middle layer in the center of the channel

Ethological Study of Rheotaxitic Behaviour of Juveniles of *Pargus major* with a Small Circulation Tank

By

Yoshinobu YASUNAGA

Summary

Swimming is essential action for fish juveniles to escape from predators and to catch food. First swimming ability of juveniles of *Pargus major* which is one of the important species in the coastal fisheries of Japan was examined with a small circulation thank of which size is 2m×1m×0.4m. The juvenile indicated fine rheotaxitic behaviour to a current. Juveniles swimmed mainly at front part of the channel at first minutes and mainly at back part of the channel at next thirty minutes perhaps from fatigue in case that the current velocity of the tank was fixed to be 20 cm/sec.

Secondly the maximum swimming speed of juveniles was estimated from rate of swimming time in the front half of the channel in various current velocity. Estimated value of maximum swimming speed of juveniles was about 15 to 20 cm/sec equivalent to 2.5 to 3 times of the value of body length of them.

Thirdly gathering behaviour of juveniles was examined in a current. Juveniles swimmed far from the model set on the bottom of the channel in case of none current but around the model in case of a current, especially in the back part of the model. The difference of gathering action of juveniles between in none current and in a current may result from the variation of current velocity in the channel because it seemed that juveniles averted the high velocity zone formed above the model and swimmed selectively in a low velocity zone around the model.

水工研報告 5
1984 p.p. 25～32

ゲートからの定常流出に伴う内部流の流況

乃万俊文*

目　次

1. はじめに……25
2. 実験装置および実験方法……25
3. 実験結果およびその考察……26
3.1 水理現象……26
3.2 縮流係数……27
3.3 共役水深……27
3.4 上層水の混入……28
3.5 跳水後の流れ……29
4. 結論……29
参考文献……29

1. はじめに

海面養殖は一定水域を生物生産の場として長期間使うものである。生物生産を有効に行うためには養殖施設の給餌，清掃，収穫などの管理作業が必要である。それらの作業は通常小舟で行うので，養殖は岸に近く波浪の直接当らない静穏水域で行われることが多い。静穏水域は一般に外海水との海水交換率が小さいため，多量の養殖生物を収容したり，給餌を続ければ海底には残餌や排泄物が蓄積しその分解のため酸素が消費され，水質悪化につながる。特に閉鎖性の湾内漁場では夏季には太陽輻射，陸水流入のため成層が発達し，底層への溶存酸素の供給が不足し水質悪化が問題となる。このように養殖を行うには水質改善対策の検討が重要である。

閉鎖性湾内漁場の水質改良保全のためには潮汐を利用した交流口改善工法[1]や，機械エネルギーによる外海水導入が実施され，また導流堤方式[2]が提案されている。現実の海湾に存在する密度成層を考慮しての水質改良保全をはかる工法の開発がまたれている。そのためには，潮汐による外海水の流出入に伴う湾内水の混合機構が明らかにされねばならない。その基礎研究として，水槽実験において淡水域へゲート下端から塩水が定常流入する場合の流況および混入量について調べた。そして流況および混入量には，ゲート開度が大きく影響することを明らかにする。

本研究を行うに当って水槽実験は当時東京水産大学生であった加戸俊広氏の手をわずらわした。ここに記して感謝します。

* 水産土木工学部

2. 実験装置および実験方法

実験装置は図1に示すように長さ 14 m，幅 0.2 m，深さ 0.5 m の両面ガラス張り水路で，塩水槽，高水槽 (1×1×1 m) および計量水槽から成り，塩水 70 cc/s/cm まで流すことができる。実験水路の上流方には整流板，模型湾口が設けられており，上流端から 1.8 m の所にスルースゲートが設けられている。

実験に先だちゲートを下ろして下流側に淡水，上流側に塩水をほぼ水位が釣り合うように注水し所定水深まで湛水させる（ゲートは塩ビ板にゴムを張りつけたもので水路半ばまで戸当り溝との接触もよく塩水または淡水の遮水は十分である)。この状態で上流側塩水を余水吐で放流しながら所要流量に設定し，余水吐を閉じると同時に，ゲートを人力で所定の高さに引揚げて実験開始とする。従って基本的には淡水（上層）静止，塩水（下層）流動の現象となるが，淡水は下流端の堰を越流して流出

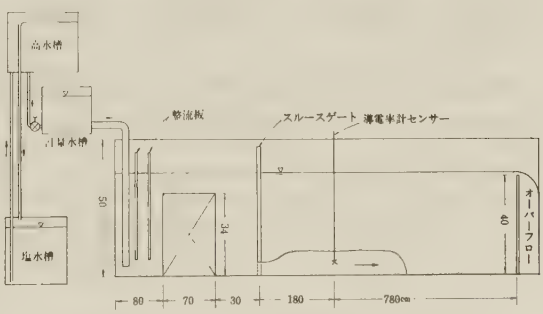


図 1　実験装置模式図
Schematic representation of model channel and basin

する。

計測は以下のように行った。

流量：計量槽の三角堰を用いて測定するが，余水吐から計量桝に受けて測定することも補助的に行った。

淡水密度：採水して比重計で測定した。

塩水密度：標準塩水で検定を行った導電率計でその鉛直分布を求めた。

プルームの状況：予め塩水をウラニン等で着色して目視で観測した。

ゲート下流側流量：プルームの高さとその進行速度の積として求めた。

プルーム速度：ある距離を移動するのに要する時間から求めた。

実験の組み合わせは表1の通りである。

表 1　実験の組み合わせ

流　　量　q_0 (cc/s/cm)	6.5～16.3
開 口 高　D (cm)	0.8～8.5
密 度 差　ε	0.0021～0.0143
越流堰高　H (cm)	40 に固定

混入率はプルームの密度から(1)式で計算する。

$$\xi=\frac{q_e}{q_0}=\frac{\rho_0-\rho}{\rho-\rho_1} \quad \cdots\cdots(1)$$

ここに，ξ：混入率，q_0：塩水流量，q_e：淡水混入量，ρ_0：塩水密度，ρ_1：淡水密度，ρ：プルーム密度。
（なお，結果一覧は附表に示す。）

3.　実験結果およびその考察

3.1　水理現象

流況はゲートの開度によって3つの型がある。

まず，開度が小さい場合流出塩水はゲートを離れて縮流を受けた後内部跳水を起こす。この途中跳水区間において界面には渦が発生し，上層淡水の混入がみられる（Aタイプ）。

開度が大きくなると流出塩水は縮流を受けることなく内部跳水を起こす。この場合淡水混入は小さい（Bタイプ）。

更に開度が大きくなるとゲート開口部上端から淡水が逆流して，塩水貯留部で混合しながら流出する。この場合混合塩水は跳水を起こすことなく，その層厚がほぼ一定で下流側へ流出する（Cタイプ）。

ゲートの開度を内部限界水深を用いて D/h_c と定義するとタイプ分は次のようである。

D/h_c：A＜1.6＜B＜2.2＜C

ここに，D：開口高さ，h_c：内部限界水深 $h_c=(q_0/\varepsilon g)^{1/3}$，$\varepsilon=\rho_0-\rho_1/\rho_0$，$g$：重力の加速度。

内部フルード数 F_D を次のように定義すると

$$F_D=\frac{q_0}{\sqrt{\varepsilon g D^3}} \quad \cdots\cdots(2)$$

F_D との開口度の関係は(3)式のようである。

$$F_D=\left(\frac{h_c}{D}\right)^{3/2} \quad \cdots\cdots(3)$$

つまり流況は開度によって異なることがわかる。またB-C型の境界では混入ゼロとなることがうかがわれる。従って A，B，C のタイプ分けはまた F_D を用いて

F_D：A＞0.5＞B＞0.3＞C

である。開口部における内部フルード数 F_D と混入率の関係を示すと図2のようになる。

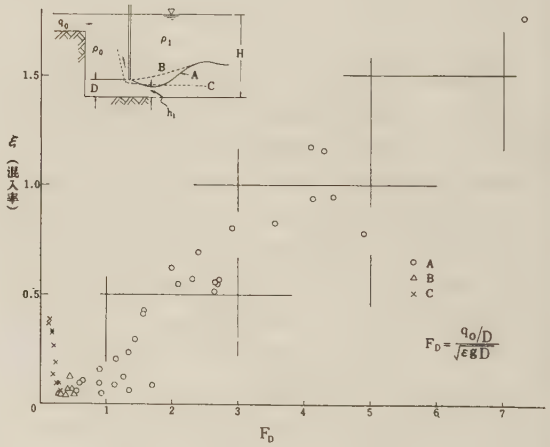


図 2　混入率と F_D の関係
Mixing ratio and densimetric Froude number at orifice

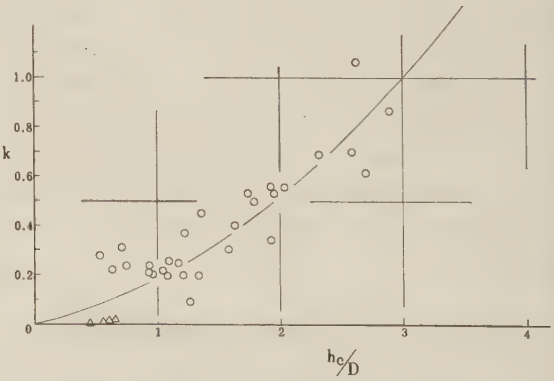


図 3　k と h_c/D の関係
k and aperture ratio

3.2 縮流係数

以下縮流を受ける A 型の流況について検討を進める。縮流部のプルーム高さを h_1 とするとゲート上流側での流入エネルギーは

$$(\rho_0-\rho_1)g(H-h_1)$$

縮流部では

$$\rho_0\frac{u_1^2}{2}+\rho_1 g\Delta H$$

流入エネルギーが縮流部に伝わる割合を k とすると

$$k\{(\rho_0-\rho_1)g(H-h_1)\}=\rho_0\frac{u_1^2}{2}+\rho_1 g\Delta H \quad \cdots(4)$$

ここに，$u_1=q_0/h_1$，H：全水深，ΔH：塩水流入による水位変動，但し実験において ΔH は残念ながら測定していない。

実験結果から次式の k を求めると図 3 のように h_c/D の関数となる。

$$k=\frac{u_1^2}{2\varepsilon g(H-h_1)}$$

k は基本的には定数と考えられるが，h_c/D が大きい即ち閉塞の度が強まると k が大きくなるのはゲート上流側に堰きあげが起ったのを無視したことによると考えられる。右辺第 2 項を無視して (4) 式を整理すると

$$2kc_c^3-\left\{2k\frac{H}{D}+k\frac{h_c}{D}\left(\frac{h_c}{H}\right)^2\right\}c_c^2+\left(\frac{h_c}{D}\right)^3=0 \quad \cdots\cdots(5)$$

ここに，c_c：縮流係数 $(=h_1/D)$。

k を h_c/D の関数として (5) 式を解くと縮流係数は図 4 の曲線のようになる。

3.3 共役水深

共役水深については中村ら[3] が運動量則を適用して (6)，(7) 式を示している。

$$\eta^3-(1+\xi)\left(1+2F_{r_1}^2-2\frac{\rho}{\rho_0}\frac{F_{r_1}^2\xi^2}{\eta_{1c}-\eta}\right)\eta+2\frac{\rho}{\rho_0}(1+\xi)^3F_{r_1}^2=0 \quad \cdots\cdots(6)$$

ここに，$\eta=h_2/h_1$，h_2：跳水後のプルームの高さ，$F_{r_1}=u_1/\sqrt{\varepsilon g h_1}$，$\eta_{1c}=H/h_1$，$u_1$：縮流部流速。

(6) 式には上層水の連行されていることによって発生した運動量の項（第 2 項カッコ内第 3 項）がある。その流

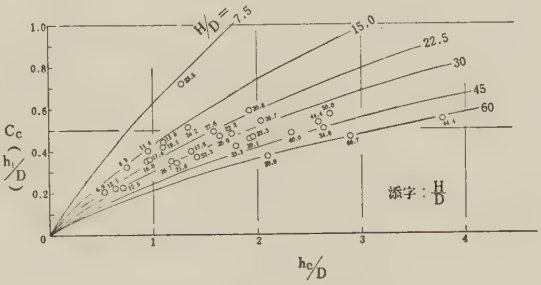


図 4 縮 流 係 数
Contraction ratio and aperture ratio

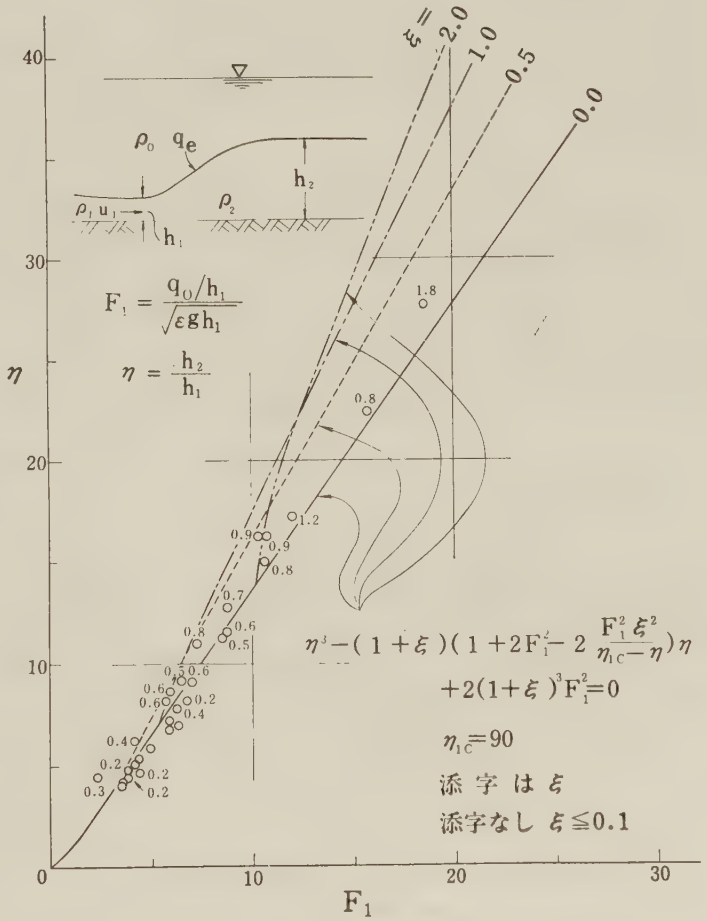


図 5 共 役 水 深
Conjugate depth ratio of internal jump and densimetric Froude number

速 u_0 は $u_0 \ll u_1$ でこの項を省略すると

$$\eta^3-(1+\xi)(1+2F_{r_1}{}^2)\eta+2\frac{\rho}{\rho_0}(1+\xi)^3F_{r_1}{}^2=0$$

いま $\rho/\rho_0=1$, $\xi=0$ とおくと

$$\eta=\frac{1}{2}(-1+\sqrt{1+8F_{r_1}{}^2}) \quad \cdots\cdots(7)$$

となり自由水面における跳水式と同型となる。実験結果を示すと図5のように混入を無視した(7)式の解より若干大きくなっているが，共役水深は概略(7)式で求めることができる。図にはまた(6)式から直接解いた η の計算曲線も描いているが，もともと無視できる位微小なエネルギー，それも熱損を無視したものを扱っているため F_{r_1} が大きくなると実験結果と合わなくなる。

3.4　上層水の混入

A型の流況の場合，上層淡水の混入は主に跳水区間で起こる。その混入量は ① 共役水深位置を検査とするエネルギー伝達率，および ② エリソン・ターナーに倣う方法で計算できよう。第1の方法では伝達率 R を次式で定義する。

$$R=\frac{\left\{(\rho-\rho_1)gh_2+\frac{\rho u_2{}^2}{2}\right\}q_e}{\left[\left\{(\rho_0-\rho_1)gh_1+\frac{\rho_0 u_1{}^2}{2}\right\}-\left\{(\rho-\rho_1)gh_2+\frac{\rho u_2{}^2}{2}\right\}\right]q_0}$$

$$u_2=(q_0+q_e)/h_2$$

R は実験結果では 0.04～0.30 であるがこの伝達率と F_{r_1} または h_c/D との関係が見出せない。そこでエリソン・ターナーに倣って混入率は両層の相対速度に比例すると考えると

$$\frac{q_e}{L}=E\left(\frac{u_1+u_2}{2}+u_0\right) \quad \cdots\cdots(8)$$

ここに，L：跳水区間長，E：連行係数。

いま跳水区間長は共役水深差に比例すると考え，その比例係数を K とおく

$$L=K(h_2-h_1) \quad \cdots\cdots(9)$$

(9)式を(8)式に代入して整理すると

$$\xi=\frac{KE(\eta-1)(\eta_{1c}-\eta)(\eta+1)}{2\eta(\eta_{1c}-\eta)-KE(\eta-1)(\eta_{1c}+\eta)} \quad \cdots\cdots(10)$$

つまり，混入率 ξ は K および E をパラメーターとする η の関数で K, E が分れば計算できる。まず，K について実験結果を示すと図6に示すように横軸にとった h_c/D につれて $K=1.36$～7.20 まで変化している。

次に実験結果による K, η, ξ を使用して(10)式から E を逆算すると図7に示すように $E=0.004$～0.033 の範囲にありオーダーとしてエリソン・ターナーによる値と同程度であるが彼らが示したリチャードソン数が小さくなれば E が大きくなる傾向は認められない。

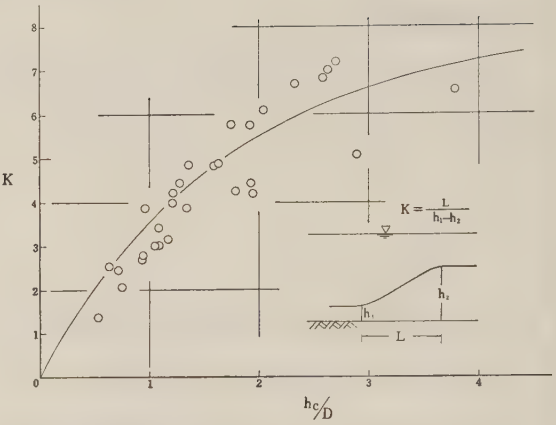


図6　跳水長と h_c/D
Length of internal jump and aperture ratio

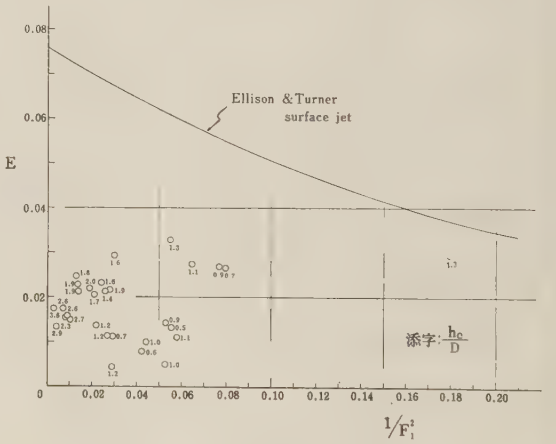


図7　連行係数 E
Entrainment coefficient E

さて，実験における混入率 ξ を示すと図8のように η が大きくなるにつれて ξ も大きくなる傾向を示す。今，K は図6に示したように h_c/D に関係するがこれを極値を8とする指数関係と考え，E を定数（$E=0.018$）として(10)式を解くと図8中の曲線のようになる。計算結果から η_{1c} が同じ場合 h_c/D が大きい程 ξ も大きくなり，また h_c/D が同じ場合は η_{1c} が大きくなると ξ が小さくなることを示している。実験結果はこれら曲線との適合度は低い。しかし，式の示す傾向はある程度（例えば $\eta<10$ で対比できるものが見られる）満足している。

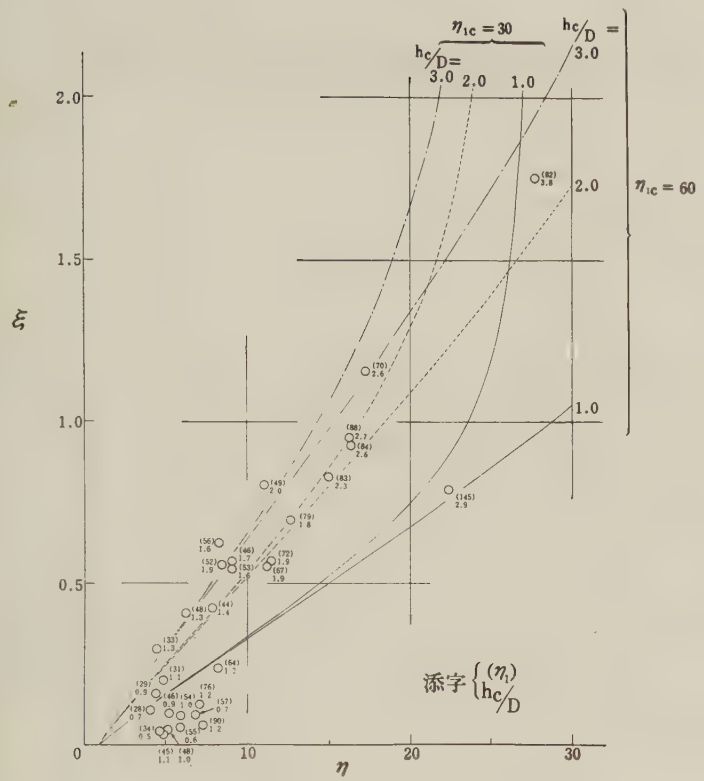


図 8　混入率と共役水深の関係
Mixting ratio and conjugate depth ratio

3.5　跳水後の流れ

跳水後のプルームはほぼ一定高さを保って下流側に流去する。その速度もほぼ一定であるのでこれ以降はそう大きい混入はないとして混入量等の測定は行っていない。この状態における内部フルード数 F_2 は A, B, C の 3 型とも 0.33～0.58 の範囲にあり開口度等との関係はみられない。つまり，この実験においては跳水後のプルーム（跳水を起こさない場合も）はその内部フルード数 $F_2=0.45$ 程度で安定し，流去することがわかる。

4.　結　　論

水槽実験により淡水域へゲート下端から塩水が定常流入する場合の流況を観察して次のことがわかった。

① 流況はゲートの開口度によって 3 態あり，その区分は内部限界水深を指標とする開口度によって行える。

ゲートを出てから縮流を受けて後内部跳水を起こす流況について検討を進め

② 縮流係数は開口度に関係するとしてその推算式を示した。

③ 内部跳水における共役水深については自由水面の場合の共役水深の式と同型の式で推算できる。

④ 内部跳水の跳水長は開口度に関係する。

⑤ 内部跳水時におこる上層淡水の混入量についてはエリソン・ターナーに倣って解析し連行係数 E を求め，混入量の推算式を示し実験結果との比較を行った。

⑥ 内部跳水後（跳水の起こらない場合も）の内部フルード数は 0.45 周辺にある。

参 考 文 献

1) 中村　充・萩野静也：海水交換に関する研究，農土試報告 15, 1977

2) 中村　充・萩野静也・乃万俊文：潮流制御による水質改善工と瀬戸内海水質改善への適用，農土試報告 14, 1976

3) 中村　充・乃万俊文・龍富士夫：密度成層流の内部跳水，第 25 回海工論集，1978

A Densimetric Flow Pattern accompanying Outflow from a Gate

by

Toshifumi NOMA

Summary

A method that utilizes internal energy such as stratification in a bay is being proceeded tentatively. Development of such method is necessary to well consider internal flow phenomena, in this context, the densimetric flow pattern accompanying an outflow of salt water into fresh water was empirically studied.

The flow pattern and mixing ratio of fresh water largely depend on the aperture ratio defined by D/h_c, where, D : aperture and h_c : internal critical depth. When the aperture ratio is less than 1.6, the outflow is once contracted and jumps to the conjugate depth, during the jump fresh water is mixed into salt water. The contraction coefficient is shown in Fig. 4 related to the inverse aperture ratio, h_c/D. The conjugate depth ratio is shown in Fig. 5. The length of internal jump also depends on h_c/D as Fig. 6. From above the mixing ratio is expressed by eq. (10) and shown in Fig. 8.

After the jump, the plume (mixed water mass) flows nearly constant and has densimetric Froude number about 0.45.

付表 1　　結果 A

RESULT A

J	Q	EP	HC	D	H1	H2	HC/D	FD	F1	PS	ET	E1C	K	E	SK
1	12.20	0.00971	2.501	1.30	0.77	6.50	1.9240	2.669	5.889	0.556	8.475	52.151	5.756	0.0214	0.3390
2	16.30	0.00735	3.330	1.30		11.00	2.5612	4.099		1.176					
3	9.40	0.00507	2.610	1.60	0.75	6.90	1.6314	2.084	6.467	0.545	9.176	53.191	4.880	0.0229	0.4006
4	6.90	0.00309	2.505	1.30	0.60	6.70	1.9271	2.675	8.575	0.550	11.204	66.890	4.425	0.0210	0.5579
5	6.50	0.01400	1.455	1.20	0.44	3.20	1.2124	1.335	5.931	0.060	7.207	90.090	3.931	0.0042	0.1974
6	6.90	0.01371	1.525	0.80		4.50	1.9059	2.631		0.511					
7	8.70	0.01478	1.735	0.60	0.28	6.20	2.8923	4.919	15.767	0.786	22.464	144.928	5.064	0.0132	0.8636
8	8.70	0.00714	2.211	2.30	0.83	4.20	0.9614	0.943	4.364	0.043	5.072	48.309	3.855	0.0046	0.2013
9	8.40	0.00705	2.170	1.70	1.22	5.40	1.2763	1.442	2.360	0.291	4.412	32.680	4.430	0.0293	0.0879
10	8.20	0.00754	2.087	3.30	0.73	4.30	0.6326	0.503	4.876	0.056	5.923	55.096	2.518	0.0076	0.2197
11	8.30	0.00764	2.095	2.00	0.74	4.40	1.0477	1.072	4.765	0.084	5.946	54.054	3.005	0.0096	0.2140
12	8.40	0.00725	2.150	1.20	0.50	6.40	1.7915	2.398	8.810	0.698	12.698	73.365	4.240	0.0244	0.4952
13	8.40	0.00715	2.160	0.80	0.46	7.40	2.6995	4.435	10.307	0.945	16.228	87.719	7.200	0.0151	0.6125
14	8.40	0.00596	2.294	3.20	0.70	4.80	0.7169	0.607	5.882	0.091	6.818	56.818	2.441	0.0110	0.3099
15	8.40	0.00567	2.333	2.50	0.87	4.60	0.9334	0.902	4.355	0.096	5.257	45.714	2.685	0.0139	0.2121
16	8.40	0.00606	2.282	2.10	0.88	4.40	1.0864	1.132	4.160	0.089	4.989	45.351	3.411	0.0107	0.1951
17	8.40	0.00626	2.257	1.85	0.63	5.15	1.2201	1.348	6.798	0.235	8.188	63.593	4.203	0.0134	0.3691
18	8.10	0.00616	2.215	1.65	0.84	5.25	1.3423	1.555	4.270	0.409	6.239	47.534	3.856	0.0325	0.1959
19	8.40	0.00596	2.294	1.45	0.71	5.90	1.5820	1.990	5.801	0.621	8.304	56.298	4.817	0.0289	0.3043
20	8.70	0.00606	2.335	1.20	0.55	6.30	1.9462	2.715	8.703	0.564	11.413	72.464	4.175	0.0225	0.5299
21	8.70	0.00616	2.323	1.00	0.48	7.20	2.3228	3.540	10.645	0.824	15.000	83.333	6.696	0.0153	0.6882
22	8.70	0.00616	2.323	0.90	0.48	7.80	2.5809	4.146	10.746	0.938	16.352	83.857	6.828	0.0156	0.6968
23	8.70	0.00239	3.184	2.90	1.28	6.25	1.0980	1.150	3.942	0.200	4.898	31.348	3.016	0.0270	0.2560
24	8.70	0.00269	3.061	2.25	0.90	7.10	1.3605	1.587	6.273	0.421	7.889	44.444	4.839	0.0210	0.4528
25	8.70	0.00249	3.140	1.80	0.86	7.80	1.7446	2.304	6.929	0.563	9.028	46.296	5.767	0.0202	0.5300
26	8.70	0.00269	3.061	1.50	0.81	9.00	2.0407	2.915	7.347	0.801	11.111	49.383	6.105	0.0216	0.5578
27	8.70	0.00279	3.024	1.15	0.57	10.00	2.6298	4.265	12.062	1.154	17.391	69.565	7.003	0.0172	1.0610
28	9.20	0.00220	3.401	0.90	0.49	13.50	3.7791	7.347	18.514	1.750	27.778	82.305	6.531	0.0172	2.1079
29	8.80	0.00219	3.302	3.50	1.40	6.10	0.9435	0.916	3.623	0.158	4.357	28.571	2.766	0.0266	0.2380
30	8.80	0.00209	3.354	4.50	1.44	5.80	0.7453	0.643	3.555	0.105	4.028	27.778	2.064	0.0263	0.2359
31	8.70	0.01430	1.755	1.50	0.52	3.70	1.1698	1.265	6.110	0.124	7.048	76.190	3.150	0.0112	0.2483

付表 2　結果 B

RESULT B

J	Q	EP	HC	D	H1	H2	HC/D	FD	F1	PS	ET	E1C	K	E	SK
1	10.30	0.00951	2.250	5.00		4.30	0.4499	0.302		0.044					
2	16.30	0.00754	3.300	5.10		5.60	0.6471	0.521		0.041					
3	9.80	0.00497	2.701	4.50		4.90	0.6002	0.465		0.064					
4	6.50	0.00339	2.334	4.20		4.30	0.5558	0.414		0.063					
5	7.00	0.01487	1.498	3.50		3.20	0.4280	0.280		0.041					
6	8.70	0.00259	3.100	5.90	1.18	5.60	0.5253	0.381	4.257	0.040	4.746	33.898	1.357	0.0129	0.2755
7	8.80	0.01322	1.815	3.15		3.90	0.5762	0.437		0.126					

付表 3　結果 C

RESULT C

J	Q	EP	HC	D	H1	H2	HC/D	FD	F1	PS
1	9.40	0.00892	2.162	7.80		5.10	0.2772	0.146		0.385
2	15.80	0.00705	3.306	7.80		5.90	0.4238	0.276		0.092
3	8.90	0.00498	2.533	8.00		5.10	0.3166	0.178		0.316
4	7.70	0.00349	2.589	7.70		4.20	0.3362	0.195		0.129
5	7.80	0.01478	1.613	6.90		4.20	0.2338	0.113		0.364
6	8.40	0.00705	2.170	4.80		4.20	0.4520	0.304		0.060
7	9.20	0.00715	2.295	6.80		4.90	0.3375	0.196		0.263
8	8.70	0.00596	2.348	5.40		4.30	0.4349	0.287		0.091
9	8.30	0.00596	2.276	7.40		4.60	0.3075	0.171		0.333
10	9.10	0.00259	3.194	8.50		5.90	0.3757	0.230		0.182

水工研報告 5
1984 p.p. 33～66

海底礁による地形性湧昇流に関する研究 I

——山口県沙巻礁における実態把握調査結果——

上北征男[*1]・中村 充[*2]・秀島好昭[*3]

目 次

1. 緒 言……33
2. 昭和54年度及び昭和55年度調査……34
2.1 調査方法……34
2.2 調査結果と考察……35
イ）流速観測結果について……35
ロ）水温・塩分の観測結果について……36
ハ）魚群探知機による流況構造について……37
3. 昭和56年度調査……37
3.1 調査方法……37
3.2 調査結果と考察……39
イ）定点における流速観測結果について……39
ロ）礁通過後の後流域における鉛直流観測……40
ハ）魚群探知機による礁を横切る流れ構造……41
ニ）礁後流域における水塊分布調査……42
4. 昭和57年度調査……42
4.1 調査方法……42
4.2 調査結果と考察……43
イ）流速観測結果……43
ロ）水温・塩分の鉛直分布……44
ハ）鉛直流観測結果……45
ニ）プランクトン観測調査結果……45
ホ）魚群探知機による流動構造……53
5. 地形性渦の発生機構に関する理論的予察……55
6. 結 言……59
参考文献……60

1. 緒 言

礁，海底半島，海山などの海底地形の起状によって，周辺域の流れが影響されその後流域に反流，上昇・降下流が生じ，流れの性状が地形に起因して変化する。このような流れの変化は，水塊の混合を伴ない，新しい水塊を形成するが，このようにして生じた新水塊は，次の混合を受けるまで持続する。一方，水産生物の立場からみると，このような礁，海山など海底の地形変化が烈しい場所に，一般に好漁場が形成されていることが数多く報告されている。筆者らは好漁場の形成に，地形による流れおよび水塊の性状変化が何らかの形で関与しているのではないかと考え，地形変化による流れの構造の変化について，山口県内でも有数の好漁場となっている沙巻礁を対象として，昭和54年度から昭和57年度迄の4ケ年間現地調査を行った。本報告は，この観測結果をまとめたものである。各年度における重点調査内容は，下記の通りである。

(1) 昭和54年度～昭和55年度

礁による流動特性の把握と水塊混合過程の実態を明らかにする。

(2) 昭和56年度～昭和57年度

礁による地形性湧昇流の実態を鉛直流観測を行って検証すること，及び水塊混合が漁場形成に及ぼす影響をプランクトンの分布調査から明らかにする。

本調査は，科学技術庁の「海域制御に関する研究」の一つとして行われたもので，海洋科学技術センターが窓口となり，調査は水産工学研究所，山口県外海水産試験場が共同して当り，調査結果の解析は主として水産工学研究所が担当した。調査には，山口県外海水産試験場所属の黒潮丸（149.29総トン），若潮丸（33総トン）を使用させていただいた。調査に当って，外海水産試験場の場長をはじめ，漁業科担当者，両船の船長，乗組員の皆様に多大の御援助を賜った。また，取得データーの整理に際しては，元東京水産大学学生大竹臣哉氏，高浜芳明氏，元東海大学学生安川武志氏に，プランクトンの種別同定に際しては，当研究所安永義暢室長に御援助を賜った。ここに深甚の謝意を表します。

*1 水産土木工学部漁場施設研究室
*2 水産土木工学部長
*3 (現)北海道開発局土木試験所特殊土壌研究室
(元)水産土木工学部漁場施設研究室

2. 昭和54年度及び55年度調査結果

2.1 調査方法

山口県汐巻礁は，図1に示す山口県の日本海側油谷湾沖に位置し，対馬暖流が礁軸にほぼ直角に当る。礁の周辺海域の平均水深は約 80 m である。礁の規模は，長さが北西一南東方向に約 4 km，礁高さが約 60 m (頂部水深 20 m)，50 m (頂部水深 30 m)，40 m (頂部水深 40 m) の凸を持ち，凸部間の間隔はほぼ 1.0～1.5 km でラクダの背の形状をなしている。また，礁の底部幅は約 1 km である。調査海域は，汐巻礁を含む海域とし，礁

表 1　定点観測位置 (磁気式流速計 MTCM-5A)
Observation points of velocity, salinity and water temperature

観測年度 / St. No / 観測水深	54年度			55年度						備考
	A*	B*	C*	A*	B*	C*	X**	Y**	Z**	
上層	26.0m	21.0m	20.0m	15.0m	14.0m	25.0m	28.0m	5.0m	14.0m	* 15日間5分間隔観測
下層	66.0	56.0	60.0	55.0	54.0	欠測	欠測	13.0	35.0	** 3日間連続観測
海底	76.0	66.0	85.0	70.0	61.0	80.0	83.0	18.0	50.0	
観測期間	1979.7.12～25			1980.7.16～25			1980.7.29～30			

図1　調査地点区
Locations of observation point in the summer of 1979 and 1980, ST. A～ST. Z is current observation points, ST. 1～24 is the salinity and water temperature observation point.

軸直角に 6 km，礁平行方向に 10 km の範囲で，観測調査項目および内容は以下の通りである。

(1) 礁軸を中心として南西部 (St. A)，北東側 (St. B)，対照点 St. C の上・下層の流向，流速，塩分，水温の時間的変化について，1979 年 7 月 12～26 日，1980 年 7 月 13～26 日に亘って 5 分毎の観測，また，St. X, Y, Z の点で 1980 年 7 月 26～30 日の 4 日間連続観測を行なった。用いた観測機器は，鶴見精機 K. K 製の磁気テープ式塩分水温流向流速計 (MTCM-5A) である。各流速計の設置水深は，表 1 に示す通りである。

(2) 礁による流速変化に伴って生じる水塊構造の変化をみるため，1979 年 7 月 13～14 日，7 月 24～25 日に，図 1-(1) に示す St. 1～St. 24 の各点で水温・塩分の鉛直分布調査を S. T. D (鶴見精機製 STD-M3-D) を用いて行なった。1980 年には，水深 10 m での水塊移動について浮子追跡調査を行ない，30 分毎の浮子移動点での水温・塩分の鉛直分布を測定した。また調査点の位置および浮子移動点の位置の確認は，調査船据え付けのデッカにより行なった。礁を越える流れの断面構造の観測には，魚群探知器 (海上電気製 132-6 型) を用いた。観測時の使用発信周波数 14 kHz，送受波器指向角および発信回数は，前後 24°，左右 45° および 113 回/分であった。また，同時に船上から目視観測を行ない魚探記録と対比検討した。

2.2 調査結果と考察

イ) 流速観測結果について

図 2 は，観測記録の一例で昭和 54 年 7 月 13 日から 25 日間の St. B における上・下層水の流向・流速，水温・塩分の 5 分間毎 15 日間の観測記録を時間平均値として求め整理したものである。図中〔I〕は，流速の礁に直角成分 (北東一南西流)，平行成分 (北西一南東流) の時間的変化を，〔II〕は，水温・塩分の時間的変化を示したもので，上段は上層水，下段は下層水の変化を示している。図 3 は昭和 55 年 7 日 16～25 日の礁の上流，下流における流速観測結果を，礁軸に対し直角成分，平行成分に分解して示したものである。また図 5 は昭和 54 年度の礁の上・下流での流速スペクトルを，礁に直角，平行方向，上層・下層別に示したもので，図 6 は，同様に昭和 55 年度の流速観測結果について流速スペクトルを

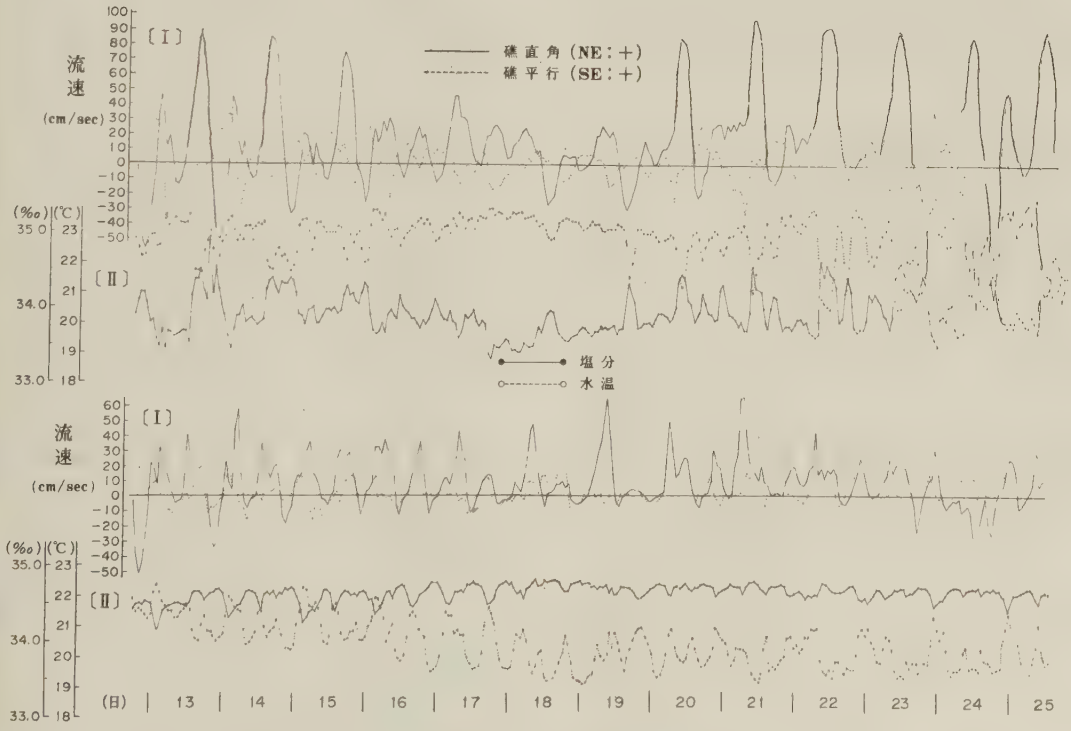


図 2　流速・水温・塩分の連続記録

Observation records of current velocity, salinity and water temperature measured at the station shown in Fig. 1 at 1979.

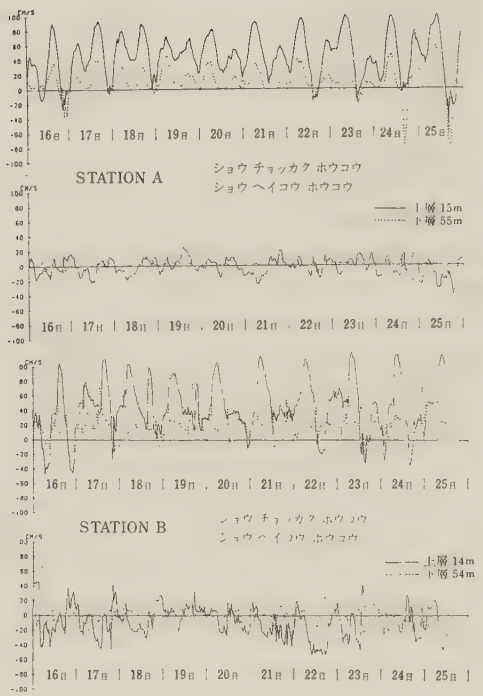


図 3　流向・流速の連続観測記録例（昭和 55 年度）
Example data of horizontal current velocities measured at the station shown in Fig. 1 at 1980

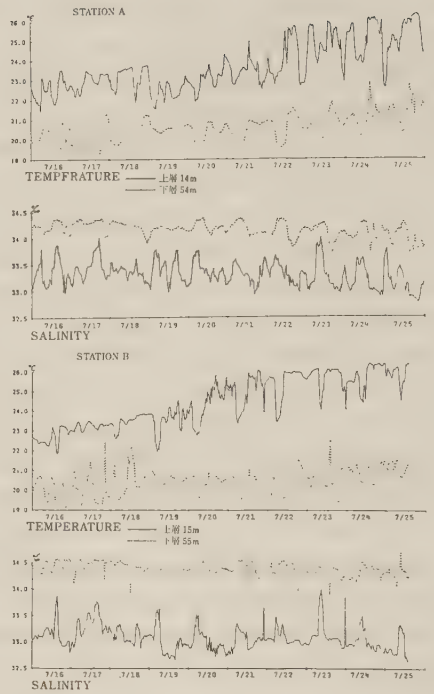


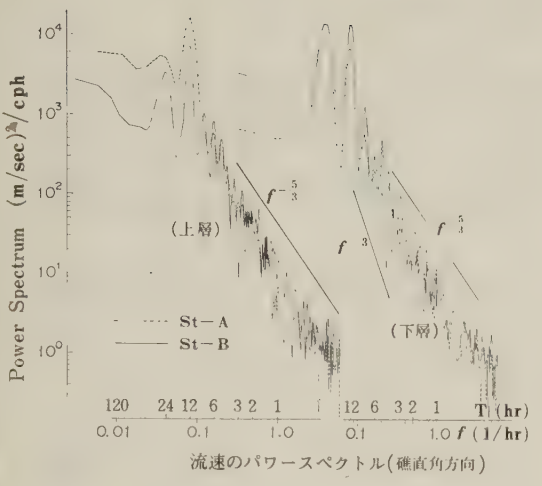
図 4　水温・塩分の連続観測記録例（昭和 55 年度）
Example data of salinity and water temperature measured at the station shown in Fig. 1 at 1980

求めたものである。

図 2，図 3 から，流れは礁に直角方向の流れが卓越しており，平行方向の流れは，小さい。このことは，図 5，図 6 の礁の直角方向と平行方向の流速スペクトルのパワーレベルを比較した時，礁平行成分に比して礁直角成分が 3～10 倍大きいことからも明らかである。図 5，図 6 の流速スペクトルの比較から次の事柄が云える。図 5 から，上層の方が下層よりパワーレベルが高いが礁を越えた後では下層が上層より高く，上層エネルギーが下層に伝達されていると考えられる。しかし，昭和 55 年度の調査から求めた図 6 にはこの事柄は明瞭に現われていない。しかし，慣性領域の エネルギー 輸送パワーレベルは，上下層共に St. A に比して St. B の方が大きく現われている。また，St. A では，昭和 54～55 年度共潮汐流をエネルギー源とした −4/3 乗則に従う慣性領域のエネルギー移送があるのに対し St. B では，昭和 54 年度には下層に，昭和 55 年度には 上層に浮力領域のエネルギー移送を示す −3 乗則のスペクトル形状が現われているのが特徴的である。浮力領域の出現層の相違は，礁頂より測定点までの距離によるもので，昭和 55 年度は測点が礁頂直後であるため，流れが礁を越える際に縮流され上層と下層が鉛直混合し，上層で新水塊が形成されている様子が伺える。。一方，昭和 54 年度においては，礁頂から離れた位置で観測点があり，礁を流れが越えることによる礁後の上・下層水の鉛直混合によって新しい密度の水塊を生じ，これが安定した成層流への移行過程でポテンシャルエネルギーに変換されているためと見ることが出来る。図 2，図 3 の礁直角方向の流れについて，大潮，小潮時の場合の流れ特性を模式化すると図 7 のようになる。図 7 から，大潮，小潮共類似の 流況を示すが，下層の流れは，礁の上（St. A）・下流（St. B）で大きく変化している。特に小潮時には下層水は，北東・南西流共礁を越えることは出来ずに，礁を迂回して流れている。このことは礁から離れた St. C の下層の流速記録に礁端を廻る流れの影響が現われていることとよく符合する。

ロ）水温・塩分の観測結果

水温・塩分について時間的変化を図 2 の〔Ⅱ〕曲線および図 4 に示す。図から上層は，流速変化と対応しており，ピーク流速に達すると水温・塩分共に変化し，水塊



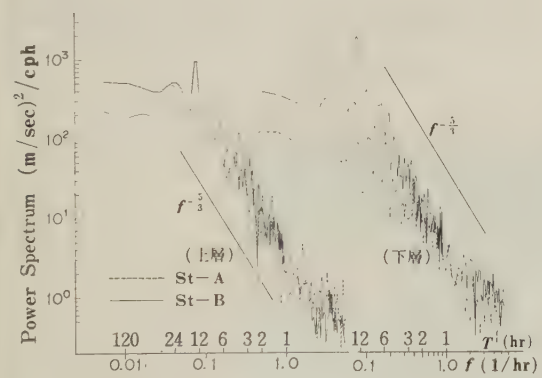


図 5　流速のパワースペクトル
Spectra of current velocity

の移動を生じていることがわかる。その後流速が弱まると，水温・塩分共に分布が復元する傾向を示し，混合による新水塊形成が伺われる。下層では流れとの対応はあまり見られずに変動していることから，混合層となっていると考えられる。St. 1～St. 24 における水温 (T)，塩分 (S) および密度 σ_t ($\sigma_t=1,000\times\rho-1$) の鉛直分布を求めた。その一例を図 8 に示す。観測時間中北東流であり，図 1-(1) に見るように St. 11 は礁上であり，St. 12 は流れに対し礁の下流に位置する。St. 12 の σ_t の鉛直分布をみると水深 10 m，20 m 層付近に逆転層が現われている。このような現象は，安定した流れでは存在し得ないから，上・下層水が乱れによって混合過程にあることを意味している。このことは後述の魚探記録にも現われている。礁を越える過程で混合が生じれば，礁の上下流における水塊の特性を水温・塩分図 T-S グラフで判別することができる。この例を図 9 に示す。図 9 の各点は，左より水深 5 m ごとの値であるから，図 9-(1) から礁を越えることによって各層で水温・塩分の平均化が行なわれ，混合による水塊形成の様子が判る。図 9-(2) の判断は明らかでないが，潮上側 30 m 水深以上の水が混合して潮下 10～15 m に集まり，潮下の下層には反流による底層水の巻き上げが起っているようである。

ハ) 魚群探知機による礁を横切る流れ構造

魚群探知機を用いて水塊構造を観測した。代表的事例を写真-1～3 に示す。この映像が密度成層あるいはプランクトン等による濁度成層もしくは成層間の流速の相違から，セン断による渦流の発生が原因なのか不明であるが，密度，濁度の異なる水塊が擾乱されている場合に起こるものと考えられそうである。写真 1 は図 1-(1) 付近で漂流中の内部波の記録で中央水深部付近に最大波高 14 m の波動がみられる。写真 3 は図 1-(1) の St. 17 から St. 20 に向かう記録の一部であり，船上からの目視と対比して考察すると，礁上では烈しく波立った流れであり，礁を越えた地点で潮目を伴う半径 100 m 程の滑面の海面が存在する。この現象は上昇流が海面に到って放射流となり，表面波が流れを遡上出来ずにさえぎられて滑面を呈したと考えられる。次に，滑面海域のほぼ中央で停船し漂流すると隣接する降下流域（こまかい波立ちと流れ藻，泡等の集められている海面）に船は漂流する。このとき魚探には円孤状に降下流線様のものが記録されている。写真 2 は逆に St. 20 から St. 17 に向かって流れを遡上したときの魚探記録であり，この魚探記録には上昇海域面（滑面海域のクサビ状の映像）および潮上側の成層流が礁のところで縮流され越流する様子が伺える。

3.　昭和 56 年度調査

3.1　調査方法

図 10 に示す汐巻礁を含む海域（ほぼ 6 km×10 km）を対象として，礁の潮上，および，潮下の海水流動把握のため流向・流速・水温・塩分について，次の 5 項目について調査を行なった。

(1)　図 10 の St. A, St. B, St. C において上・下層の流向・流速・水温・塩分，中層の水温の 5 分毎 10 日間の連続観測……昭和 56 年 7 月 15 日～昭和 56 年 7 月 24 日

(2)　礁通過後の後流域における鉛直流調査

礁後の後流域における鉛直流の調査を 56 年 7 月 15 日，16 日の両日にわたって上げ潮時超音波流速計を用いて

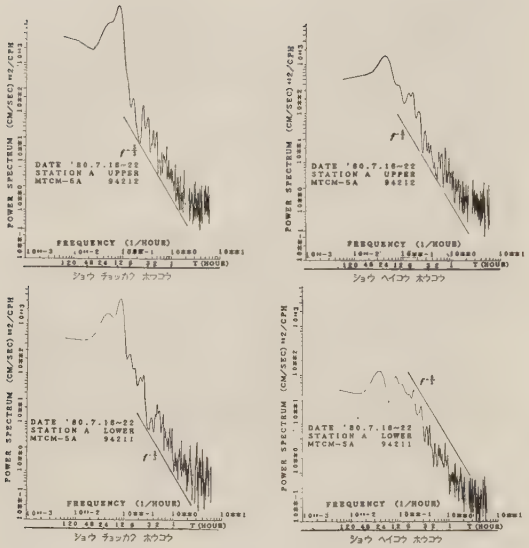


図 6-(1) 流速のパワースペクトル
(St. A, 昭和55年度)
Spectra of current velocity at the ST. A in 1980

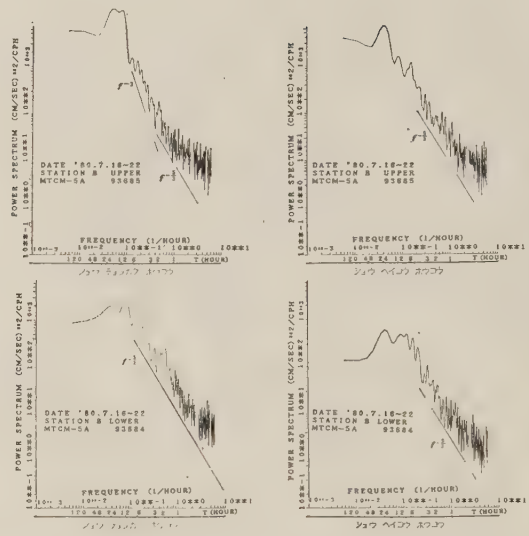


図 6-(2) 流速のパワースペクトル
(St. B, 昭和55年度)
Spectra of current velocity at the ST. B in 1980

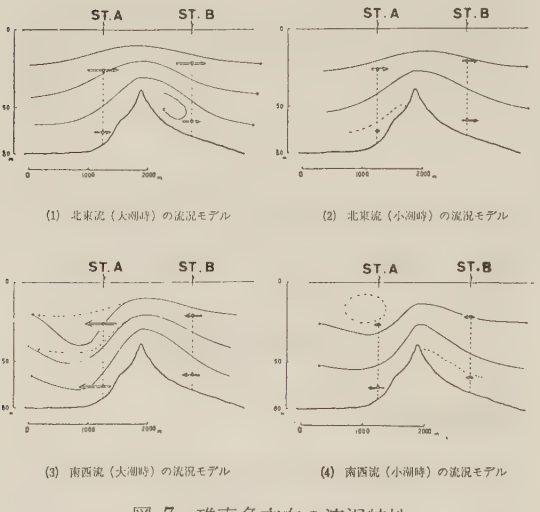


図 7 礁直角方向の流況特性
Characteristic of the current perpendicular to the reef line

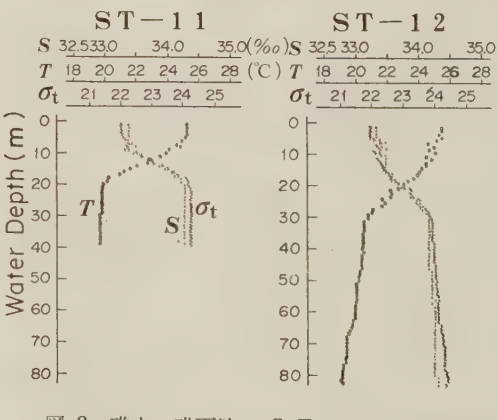


図 8 礁上，礁下流の S. T. σ_t の礁直分布例
Vertical distributions of salinity water temperature and σ_t

測定した。測定水深は 10 m，20 m，30 m である。また測定時船は漂流状態であり，船から吊り下げられた枠内に超音波式流速計（X，Y，Z 測定可能）を取りつけ，枠組の下に取りつけた 5 m のロープの先に 60 kg の上ノウを取りつけ横ぶれを防止した。超音波式流速計の上下の動揺を測定するため最大 0.5 G が測定可能な加速度計を吊り下げ用のロープに取りつけた。

(3) 魚探による礁を横切る流れ構造の観測……昭和56年7月15日～16日

(4) 礁後流域における水塊分布調査

礁後流域の 6 km×20 km の範囲と礁の影響外の地域の水温・塩分の鉛直分布を 3 km×5 km のメッシュ上で

昭和56年7月17日～18の日2間の上げ潮時に調査した。

以上の測定項目の(2)，(4)項について船位の決定は調査船（山口県外海水産試験場所属黒潮丸，若潮丸）の据え付けのデッカにより行なった。

3.2　調査結果と考察

イ）定点における流速観測結果について

図10に示すSt. A，St. B，St. Cの上層・下層での流速の変化について，昭和56年7月15日～7月24日迄10日間の5分毎の観測値を用いて30分間海の平均化して図化したものが図11-(1)～図11-(3)である。また，流速スペクトルを示したのが図-12である。図中，礁直角方向は，北西流を（+），南東流を（−），礁平行方向は，北西流を（+），南東流を（−）として表示した。昭和54年，55年同様，礁上，礁後共礁直角方向の流れが礁平行に比して，上層で4～6倍，下層で2～4

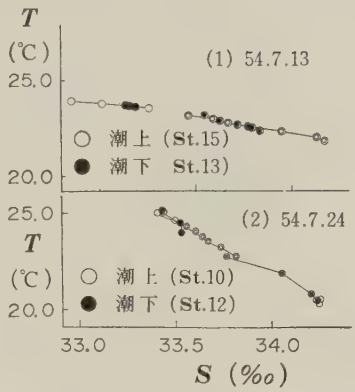


図9　礁上，下流のT-S図

T-S distributious of the upper points and the lower point against the reef

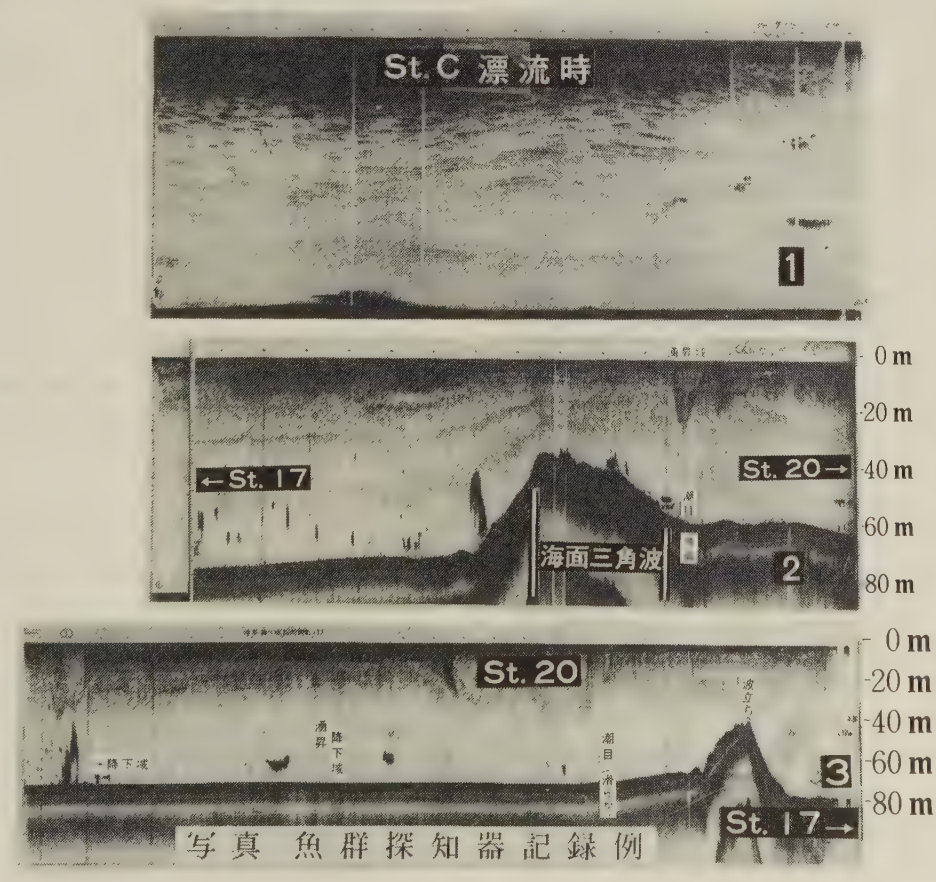
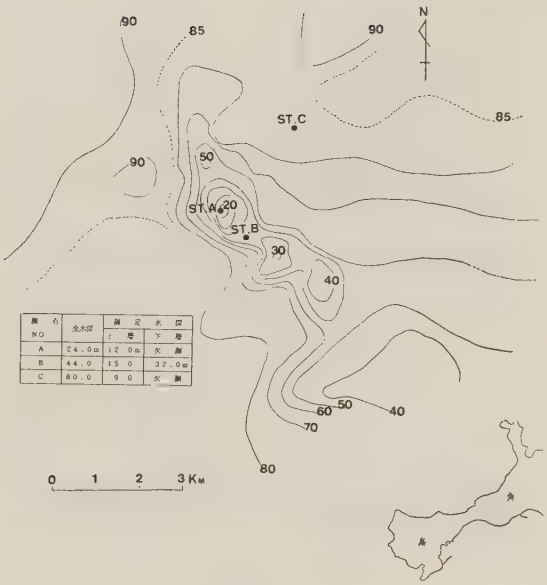


写真　魚探記録

Example data of echo-sounder in 1979



測点NO	全水深	測定水深 上層	下層
A	24.0m	12.0m	欠測
B	44.0	15.0	32.0m
C	80.0	9.0	欠測

図 10 流向・流速・塩分・水温観測点位置図
Locations of observation points in the summer of 1981

倍と大きく，特に北東流が卓越している。また，礁上の St. A, St. B と礁後の St. C を比較すると St. A, St. B は St. C に比較して礁直角方向の最大流速が大きく，St. A, St. B では礁による鉛直方向の縮流効果が現われ流速が加速されている。その縮流効果は礁上水深によって異なり礁上水深が小 (St. A<St. B) なる程流速は大きいことがわかる。礁上の St. A, St. B は約 12 時間毎に強流時が出現するがその流速の大きさは異なる。しかし，礁後の St. C では St. A, St. B と同じく 2 回強流時が出現しているが，その最大流速はほぼ等しく，礁上の St. A, St. B に比較して約 1/2 の流速を示す。次に各測点でのスペクトル解析結果について考察すると各点共 54 年，55 年での観測結果と同様に礁に直角方向の約 12 時間及び 24 時間周期の流れが顕著に卓越し，平行方向の流れに対し礁上の St. A, St. B では約 10～12 倍，礁後の St. C で 4 倍程度となっている。また，St. A, St. B では，潮汐流をエネルギー源とした −5/3 乗則に従う慣性領域のエネルギー輸送があるのに対し，礁を越えた St. C では，浮力領域のエネルギー輸送を示す −3 乗則に従う領域を示すことが以前の観測結果同様現われている。このことは，54，55 年度の観察結果と同様，流れが礁を越えることによって鉛直混合が生じ新しい密度水塊が生じ，新しい安定した成層流への移行過程でポテンシャルエネルギーに変換されて

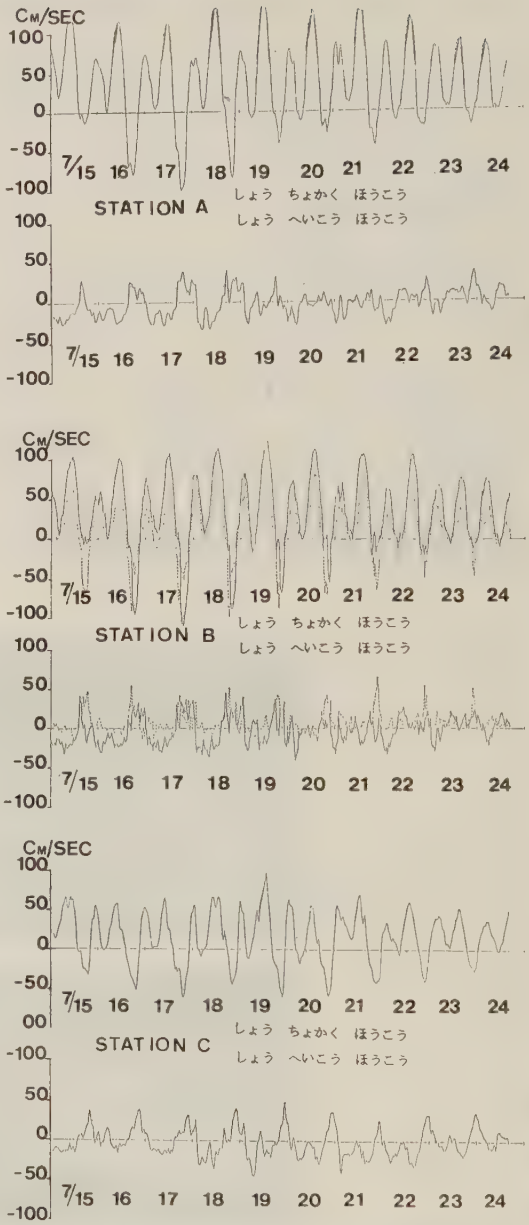


図 11 礁上 (St-A, St-B)，礁後 (St-C) での流速の時間的変化
(昭和 56 年 7 月 15 日～7 月 24 日)
Observation records of current velocity measured at the station shown in Fig. 10 at 1981

いることをが示すものである。

ロ) 礁通過後の後流域における鉛直流観測

昭和 54 年，55 年の観測結果から得られた地形性上昇流を礁認する目的で，礁後流域において鉛直流を超音波

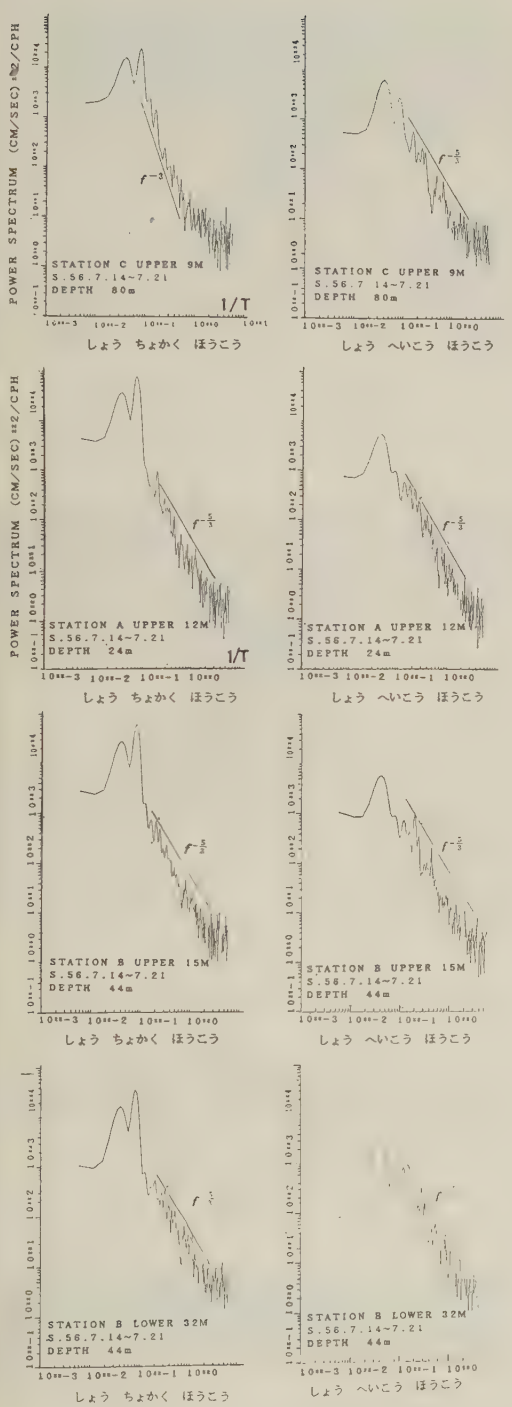


図 12　流速のスペクトル（昭和 56 年度）

Spectra of current velocity measured at the station shown in Fig. 10 at 1981

式流速計を用いて測定した。測定時の流況を St. A, St. B の観測と対比して示したのが図 13 である。また，測定結果の代表例を示したのが図 14 で，図 14 のように得られた結果から平均値をとり，その平均流速の流速 0 の線からのずれを鉛直流の平均値として求めたのが図 15 である。図中 1-(1)～1-(10) 及び 8-(1)～8-(13) は，加速流時 2-(1)～2-(3)，3-(1)～3-(3) は最強流時 4, 5, 6, 9, 10, 11 は減速流時，7 は，海水の停滞時に測定したことを示す。図 15 から加速流時礁の凸部の後流域では，3.0 cm/sec の上昇流域が生じ，礁凹部の後流域では，ほぼ凸部後流域に比較して小さい値となる。このことは，礁凸部での流速の加速と同じに凹部との間に圧力差が生じこの圧力差による流軸に直角な循環流が生じていると考えられる。

ハ）魚群探知機による礁を横切る流れ構造

礁を横切る流れの水塊構造を調べるため魚探による観測結果を示したのが図 16-(1)～(3) である。図 16-(1) は，潮流に逆って航行した時で 54，55 年度同様，礁後に乱れが生じていることがわかる。乱れが生じている位置は，船上観測から波頭が崩れる領域の直後の滑面域に生じていることが観測された。一方，図 16-(2) は，礁上を流れが通過した後流域でも波立ちは消えず，その左弦域に滑面域がある時の魚探記録である。魚探記録には，図 16-(1) にみられるようなはっきりとした線の乱れはみら

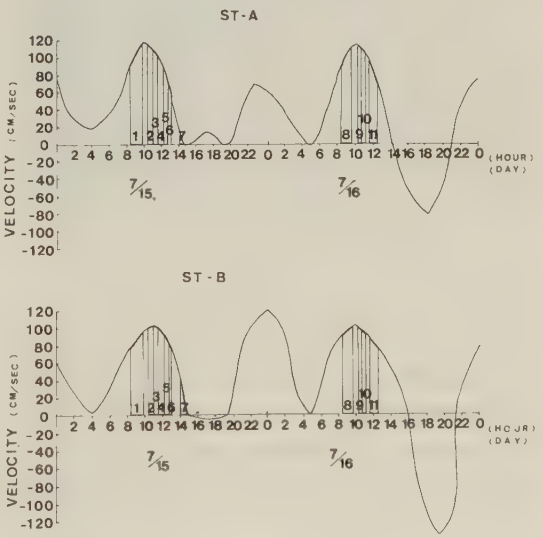


図 13　鉛直流観測時と礁上での流れ
（昭和 56 年 7 月 15 日～7 月 16 日）

Relationship of the times when measured the vertical current velocity and the current velocity on the reef

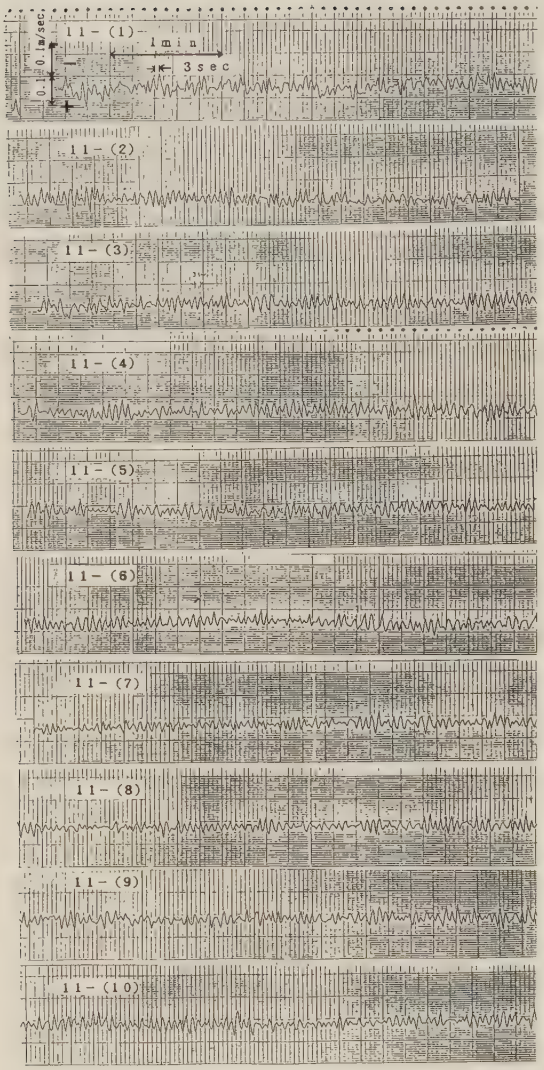


図 14　鉛直流観測結果の代表例
Example data of vertical current velocity

れず極く表面域で濃密な魚探記録が表われている。このことは船上観測からの海表面域でのゴミ集合地帯の観測と一致し降下流域であったものと推察される。この図16-(1)に現われた滑面区域に船を停泊し漂流させて魚探記録をとったのが図16-(3)である。この図も54年度同様，点々とした円孤上の記録が観測され何らかの上昇流を示す指標を示していると考えられる。

以上の魚探記録と船上観測の結果を照合検討をすると，上昇流域は地形によってある定まった場所に生じ，礁軸と平行方向，すなわち，流軸に直角方向の渦流が発生していると考えられる。

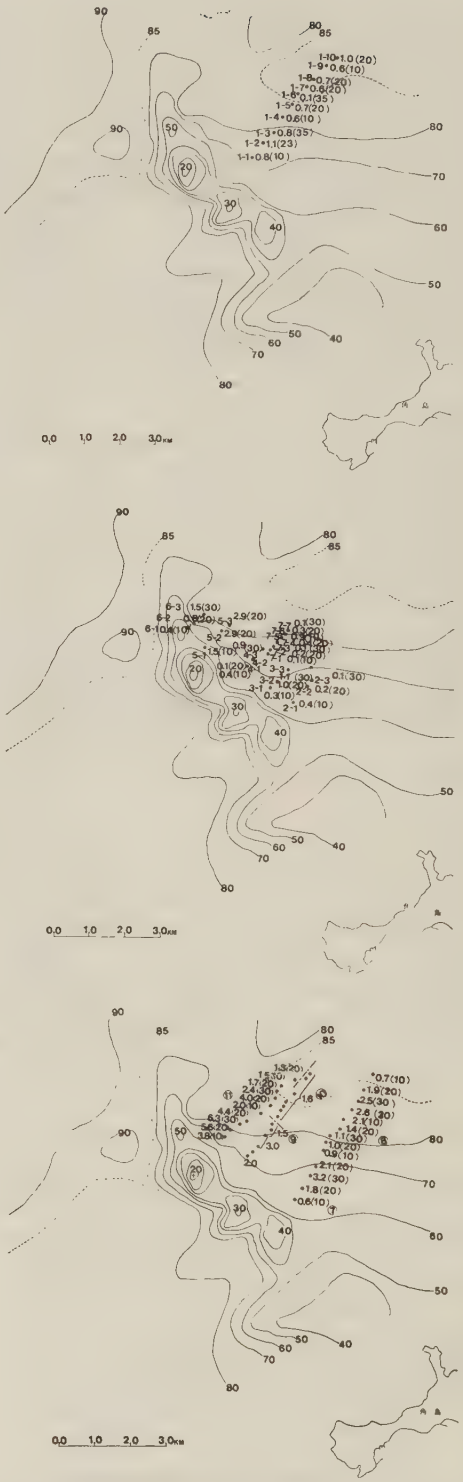


図 15　鉛直流観測結果
Values of the vertical current velocity

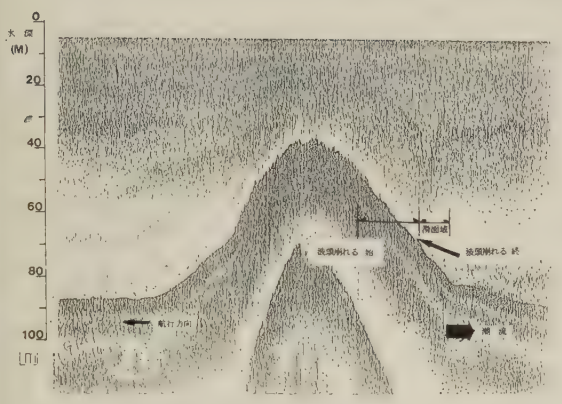


図 16-(1)　魚探記録例
Example data of echo-sounder in 1981

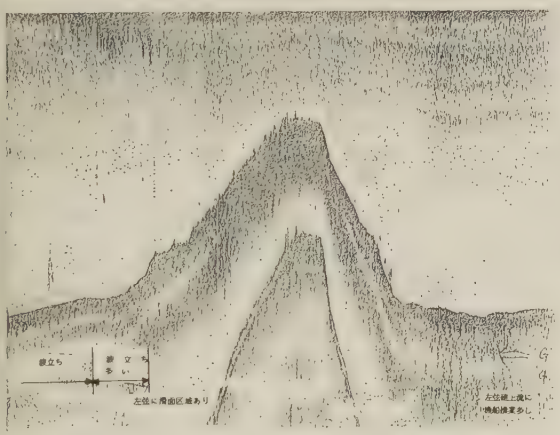


図 16-(2)　魚探記録例
Example data of echo-sounder in 1981

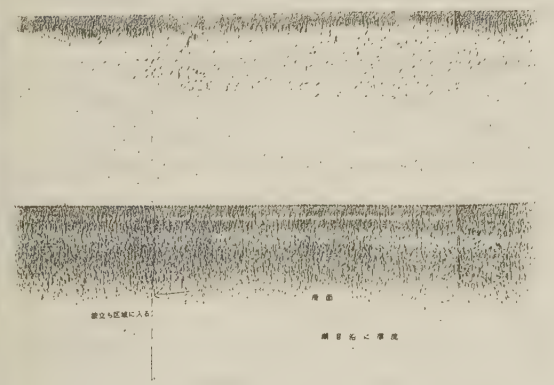


図 16-(3)　魚探記録例
Example data of echo-sounder in 1981

ニ）礁後流域における水塊分布調査

図 17 は，礁後流域での STD による水温・塩分の観測点図を，図 18-(1)～(7)，図 19-(1)～(6) は，観測結果を示す。図 18，図 19 の St. 1～St. 5 は礁の影響を受けていない対照点で，St. 6～St. 20 は礁の後流域である。図 18，図 19 の St. 1～St. 5 の記録から礁を通過しない流れ上では，水深 10 m 付近にはっきりとした塩分躍層がみられ，水深 20 m 付近に温度躍層がみられる。しかし，St. 6 以降の後流域では表面温度は，礁から遠ざかるにつれて高くなり，St. 10，St. 20 では，ほぼ対象水域と同じとなる。しかし，塩分は濃く礁通過後の混合の影響がまだ続いていることがわかる。また，St. 9，St. 10，St. 13，St. 15 では，中層から底層にかけて水温・塩分共逆転層が存在し複雑な水塊分布を示している。

4.　昭和 57 年度調査

4.1　調査方法

現地調査は図 20 に示す山口県汐巻礁をとり囲む海域，10 km×15 km を調査海域と定め，以下に示す 4 項目について行った。

以下に示す調査項目の調査地点位置を図 20 に示す。ここで，英文字の St. A，St. B，St. C，St. D は，項目 (1) の定点観測点を示し，算用数字の 1～20 は下記の (4) の調査地点を示す。

(1)　図 20 に示す礁上の St. A，St. B および礁前の St. D，礁後の St. C での表層，下層での流向，流速，塩分，水温の 5 分毎 15 日間連続観測を 1982 年 10 月 4 日から 10 月 19 日の期間行った。各測点での測定水深および測定機器を図 21 に示す。図中，MTCM-4，5，6 は塩分，水温，流向，流速を測定することができ，測定可能な流速範囲は，1 cm/sec から 300 cm/sec までである。MT-T は，水温が測定できる。

(2)　礁近辺の超音波流速計による鉛直流観測及び魚群探知機による礁通過流の流動観測。

図 22 に示す観測点を 10 月 5 日および 6 日の 2 回にわたり観測した。鉛直流は各観測点に船を漂流させ，超音波流速計（海上電機製 EC-311SD）を用いて観測した。同時に魚群探知機による流動状況観測を行ない，比較検討の資料とした。

魚群探知機は周波数 14 kHz，発振回数 113 回/min である。なお調査を担当したのは若潮丸であった。

(3)　螢光光度計（以後バリオセンスという。）による礁近辺のクロロフィル分布観測。

図 23 に示す点 A，B，C，D，E，F，G，H，I，J，

図 17 礁後の水塊分布観測点
Locations of observation points in the summer of 1981

K, L の測線に沿って順次船の後尾から 500 m のロープの先にとりつけられたバリオセンス (LMPULSPHY-SIKGmbH 製 VARIO-SENS II) を曳航して礁近辺表層のクロロフィルの分布状況を観測した。また同時に魚群探知機による流影観測も行なった。

本調査は，10 月 5 日および 6 日の北東流時に黒潮丸で行った。

(4) 図 20 に示す礁後の測点 St. 1～St. 20 において水温・塩分の鉛直分布およびプランクトンの分布調査を，St. 6～St. 15 においてクロロフィル分布調査を 10 月 7 日の北東流時に行った。

i) 水温，塩分の鉛直分布観測は，磁気テープ式 STD (TS 製 STD-M3) を用いて観測した。

ii) プランクトン分布調査は，ネットによる鉛直びき及び，ナンゼン型転倒採水器による水深 10 m, 20 m, 40 m, 70 m 層でのリッター採水を行いプランクトン数を測定した。

iii) バリオセンスの鉛直びきによってクロロフィルの鉛直分布を測定した。

4.2 調査結果と考察

イ) 流速観測結果

図 20 に示す St. A, St. B, St. C, St. D の上層・下層での流向，流速，ベクトル図を図 24-(1)～(3) に示す。また，流速の Progressive vector diagram を図 25 に流速パワースペクトルを図 26 に示す。ここで，機械の作動不能，設置後の事故による流失などにより，Data の解析に用いた記録は St. A, St. B, St. C の下層及び St. A, St. C の上層の記録である。

図 24 によると，St. A の上層・下層，St. B の下層の流れは礁の直角成分 (北東～南西流) が卓越し，上層では最大流速 1.1～1.2 m/sec が下層では 0.7～0.8 m/sec となる。流向の頻度分布も北東～南西方向がほとんどであるが，上層と下層の流向は，下層がやや，北北東～南南西方向によっている。これは，St. A の地形が北に沿っており流れもこの影響によるものであると推測される。

礁後の St. C 上層は礁上の St. A, St. B に比して流向は約 90° づれ北北西～南南東が卓越し，流速は St. A, St. B に比較して 50～60% 程度に減衰している。流向頻度は北西～南東成分のほか南西流が特徴的に表われている。また，St. C の上層，下層をみると，流向はほぼ 180° づれ礁の後流域下層で反流が生じている。この傾きを更に詳しくみるために，図 25 に流速の Progressive Vector Diagram を示した。St. A, St. B, St. C の対応を見ると，St. A, St. B で北東流が発生しているとき St. C の上層では南東流が発生し，St. A, St. B が南西流のとき St. C の上層では北西流が発生している。一方，St. C の下層で大局的には北東流が卓

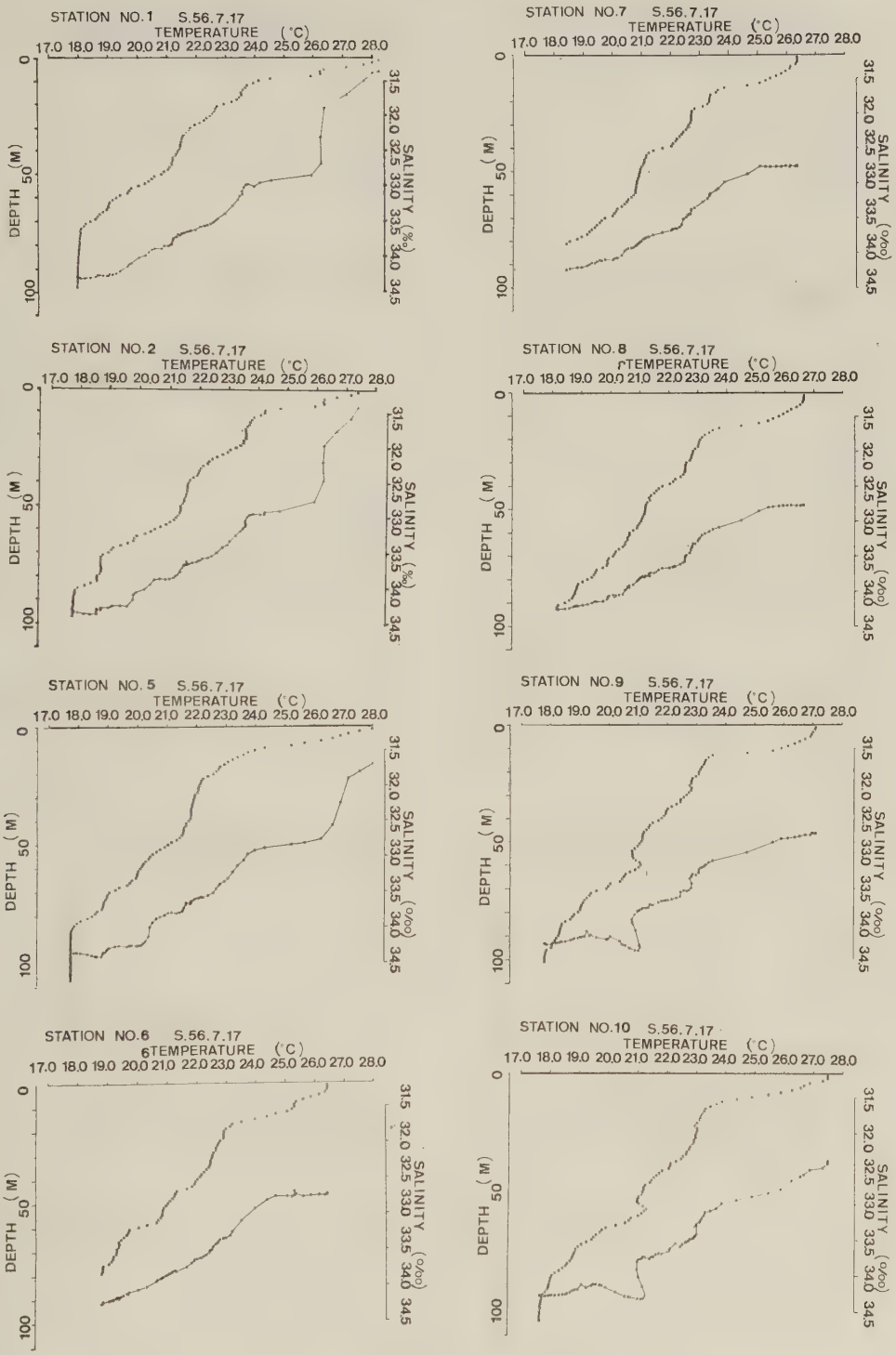


図 18 (1) D-T-S 曲線 (St. 1～St. 10)

D-T-S curves

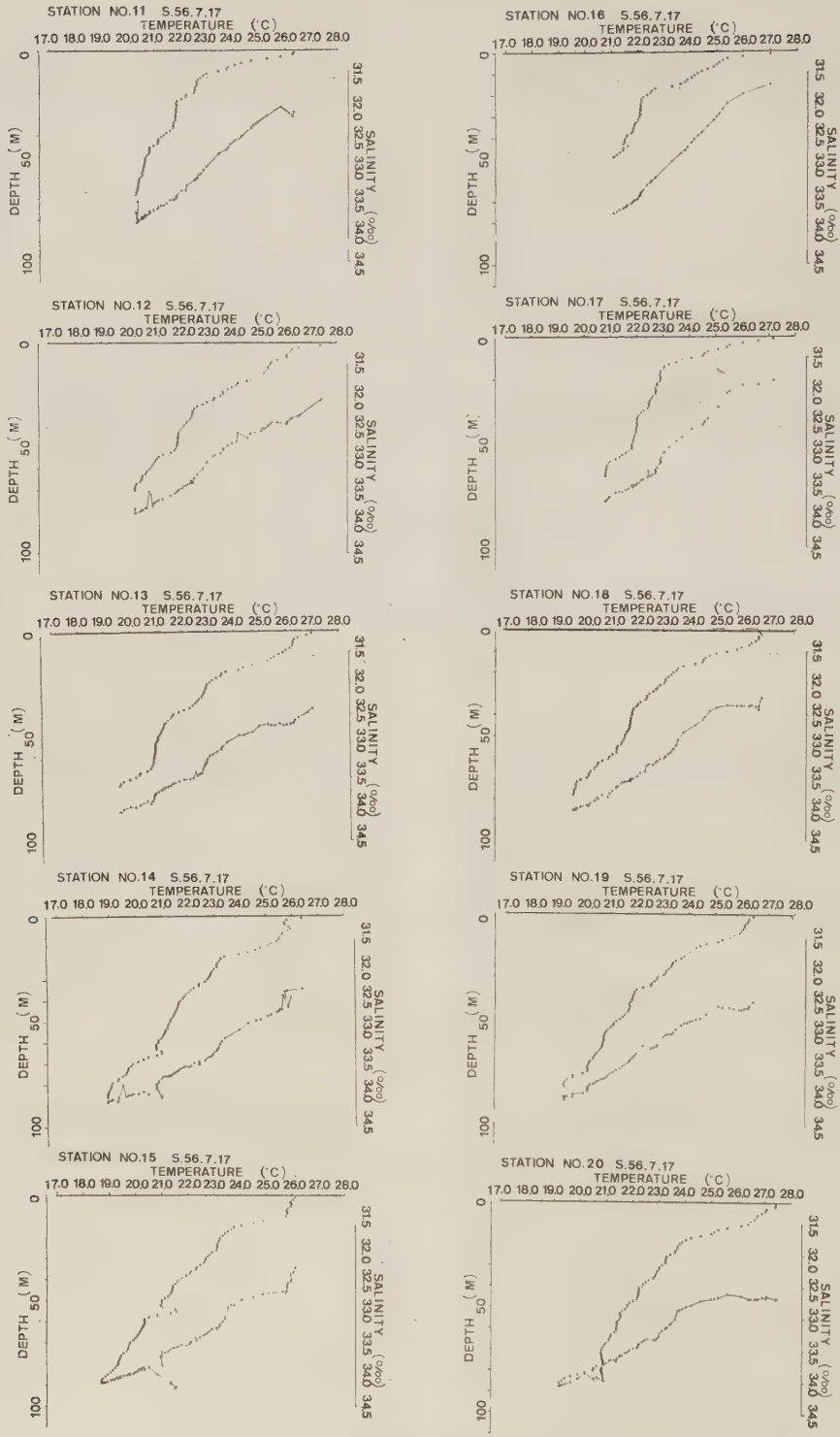


図 18-(2) D-T-S 曲線 (St. 11～St. 20)

D-T-S curves

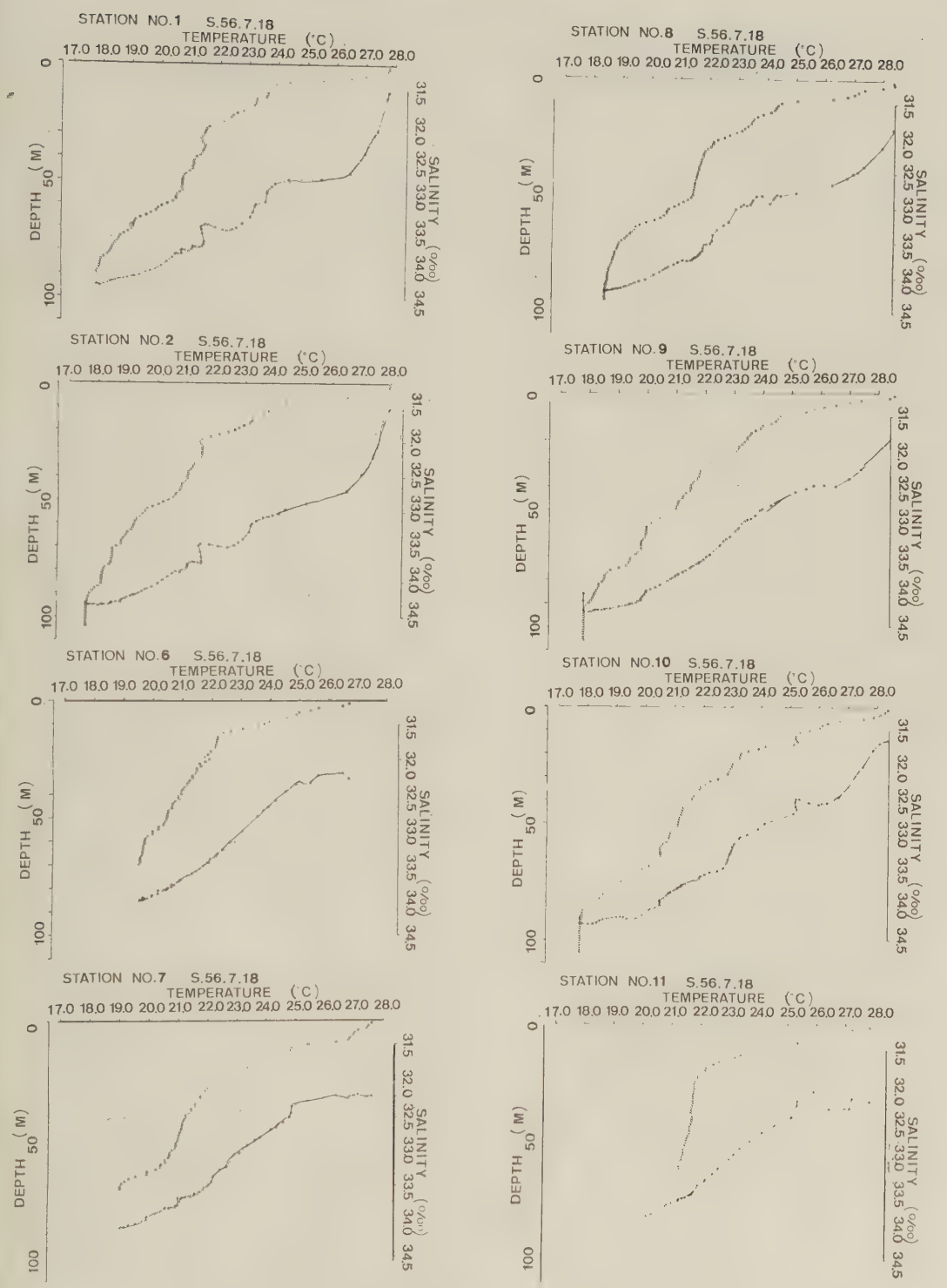


図 19-(1)　D-T-S 曲線 (St. 1～St. 11)

D-T-S curves

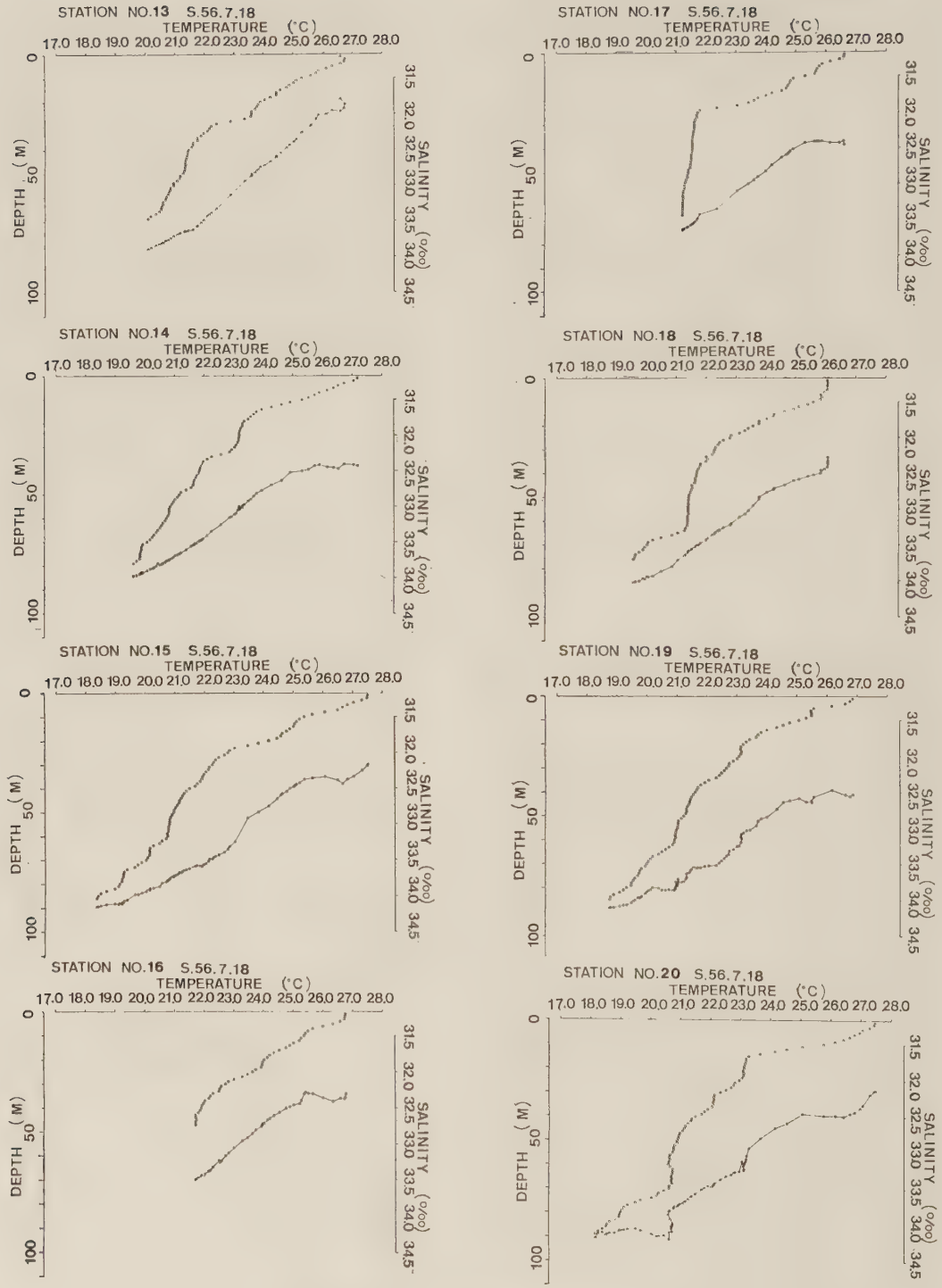


図 19-(2) D-T-S 曲線 (St. 12～St. 20)

D-T-S curves

図 20　調 査 地 点 区

Location of observation points in the autumn of 1981

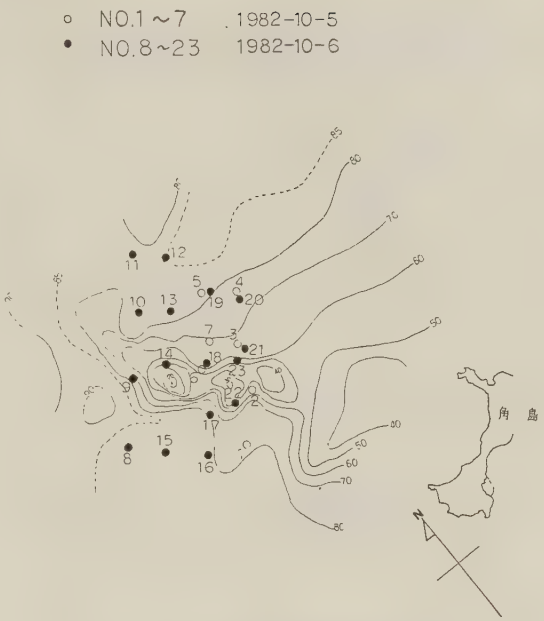


図 22　鉛直流観測地点図

Location of points observed vertical current velocity in the autumn of 1981

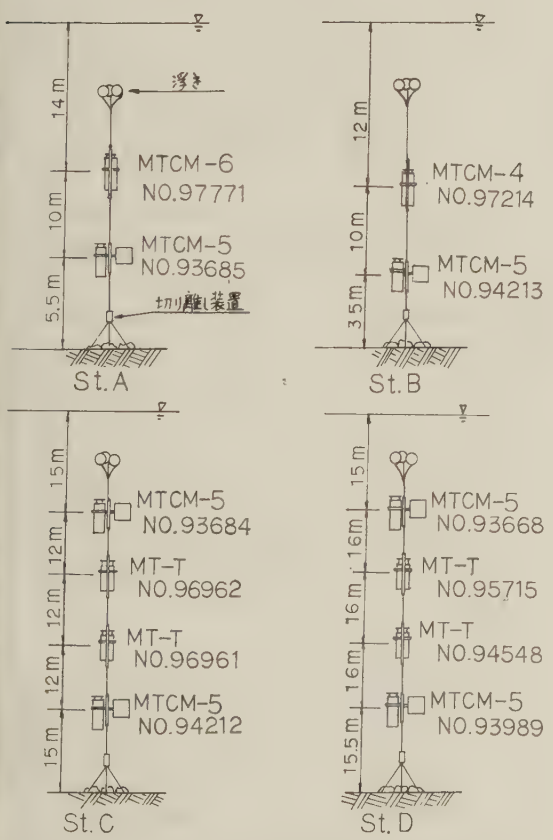


図 21　調査水深及び使用機器

Schematic view of current observation

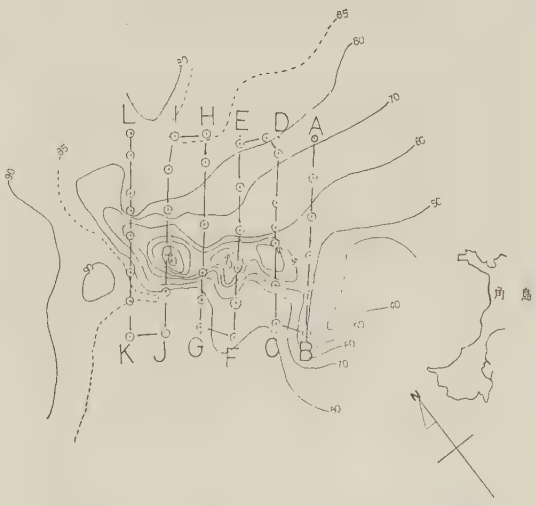
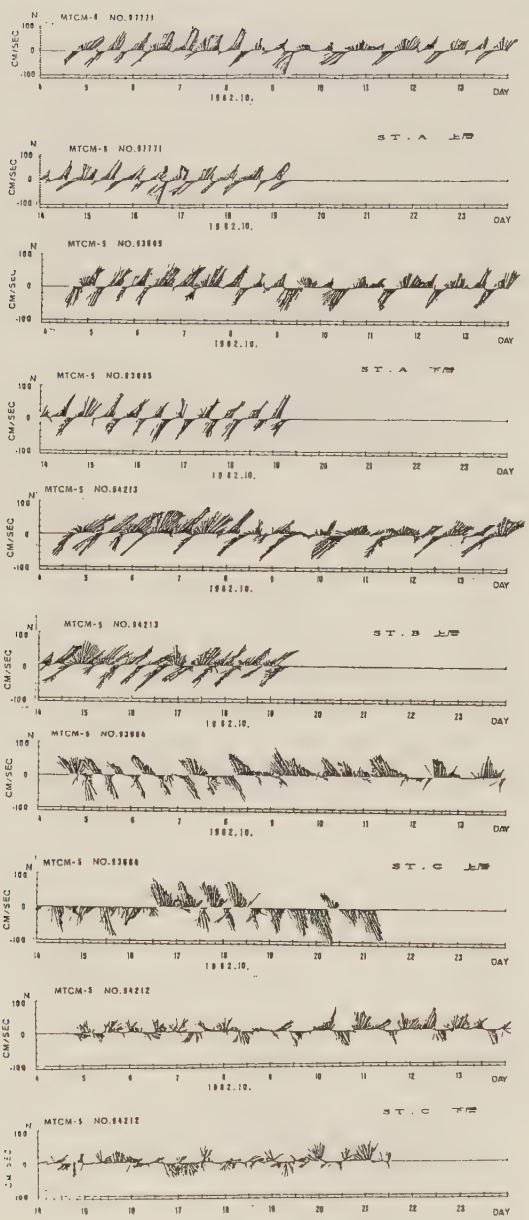


図 23　バリオセンスによるクロロフィル測線図 (1982. 10. 5)

Location of lines observed chlorophyll by VARIOSENS II



流向流速ベクトル図

図 24　流速の Vector
Vector of current measured at the station shown in Fig. 20

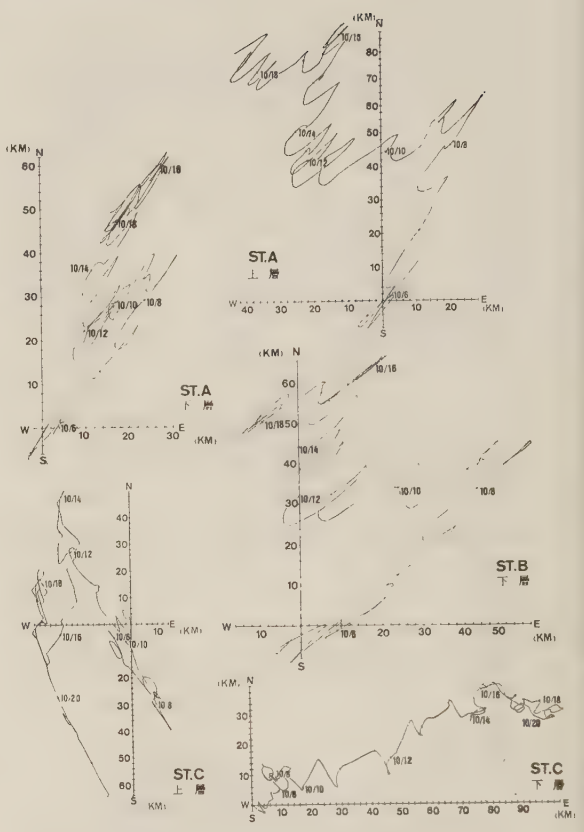


図 25　流速の Progressive Vector Diagram
Progressive vector diagram of current measured at the station in Fig. 20

越した流れとなり，渦を形成し北東に次第に流されていくことがわかる。

図 26 に流れの卓越方向（南北方向）の流速スペクトルを示す。図から St. A においては，上層，下層共に半日潮，1日潮が卓越し，そのスペクトル密度は半日潮が1日潮に比して2～3倍大きいが，上層，下層では，ほぼ同じ大きさである。またエネルギーは，−5/3 乗の慣性領域を示している。St. C においては上層の方が下層よりパワーレベルが高い。また −3 乗則の浮力領域が出現し，新水塊移行を示している。これは礁頂通過に際し縮流され，上層，下層が混合し（上層で）新水塊が生じこれが安定したポテンシャルエネルギーに変換されているためと考える。以上の調査は過去の3ケ年（昭和54年～昭和56年度）の成層期の調査の流動状況とほぼ同じ傾向を示す。

ロ）水温・塩分の鉛直分布

調査は，図 20 に示す St. 1 から St. 20 で観測を行ったが，機械の作動不良が生じたため，St. 6′, St. 6, St. 7, St. 8, St. 11′, St. 12 について STD による観測記録を得ることができた。なお観測は，前項(1)で述べたように海水の流動状況が北東方向の卓越流時に行った。

図 27 に D-T-S 曲線を示す。まず，礁をはさんだ前後での分布，St. 6′, St. 6, St. 7 の水温の鉛直分布図からは，礁前の St. 6′ でみられた水深 15 m 域の躍層

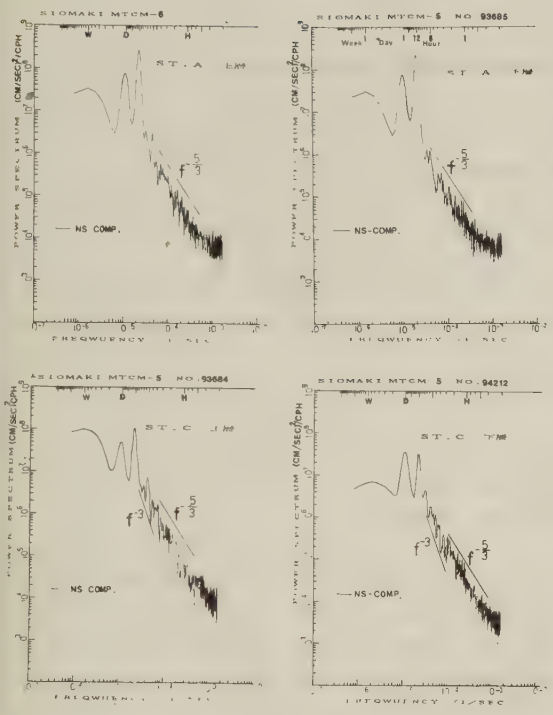


図 26　流速のスペクトル図（N-S 成分）
Spectra of current velocity at the ST. A and ST. C in 1981

の消滅が礁直後の St. 6 て，すでに起っており，St. 7, 8 とゆくにつれて表層の水温は下がり，水深 55 m 以浅まで一様な水層を形成している。水温・塩分曲線においては，礁前の St. 6′ と礁直後の St. 6 を較べると，礁後の St. 6 では塩分は，上下左右に縮められ，礁による縮流によって上下層水塊が混合されて一様な水塊が形成されていることがわかる。St. 7, 8 とゆくにつれ新水塊は上昇し，その下に重い水塊が入りこんでいる。また，他点礁前の St. 11′ から礁直後の St. 12 については，躍層の位置は 30 m 付近にあるが，礁前の St. 11′ ですでに躍層はかなりくずれ，礁を越えた St. 11 では水深 60 m 以浅まで一様な水塊を呈している。その後の St. 12 では，下層の広い範囲に重い密度の下層水塊が入りこみ新しい成層を作りつつあるものと思える。

昭和 57 年度の調査結果からは，観測時は 10 月の成層崩壊期に当り全般的に成層状態が未発達であり，混合も起りやすい傾向を示している。

ハ）鉛直流観測結果

船上より海面を目視観察すると流れが礁を通過した後方域に礁を越える時に発生した，さざ波が消滅する滑面域を観察することができる。滑面の境界域は潮目とな

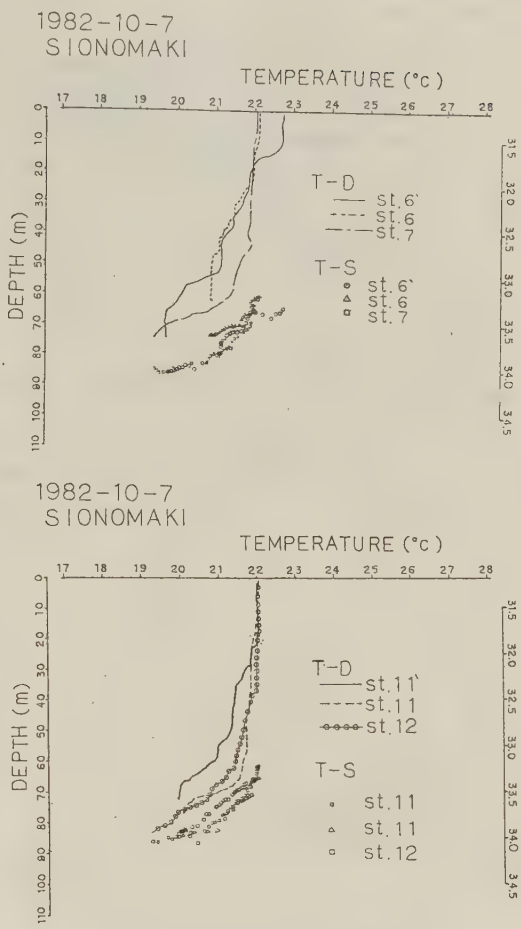


図 27　D-T-S 曲線
D T-S curves

り，かなり明確に目視できる。一般に滑面域の発生原因は波の波速が波向と逆向きの流速より小なるため，その海域を波は遡上できないことに起因していると考えられる。実際，現地も海面に湧昇流が湧き出ているように見える。湧き出した湧昇流は放射流となり広がり，やがて降下流にかわり沈下してゆく。潮目はその降下流域と考えられる。また潮目は，降下流が発生しているため浮力の大きい物が潮目に集積する現象が見られる。今回の調査では潮目を中心に鉛直流を観測した。鉛直流観測方法は，船上より超音波流速計を垂下し，水深 5 m, 10 m, 30 m 層について計測した。その結果の一例を図 28 に示す。この直接の Data からは，波による船の動揺も記録されているため，計測区間アナログデーターを用いてスペクトル解析を行ない，船の動揺による卓越成分を移動平均して除去した変動成分について，基準値からの平均

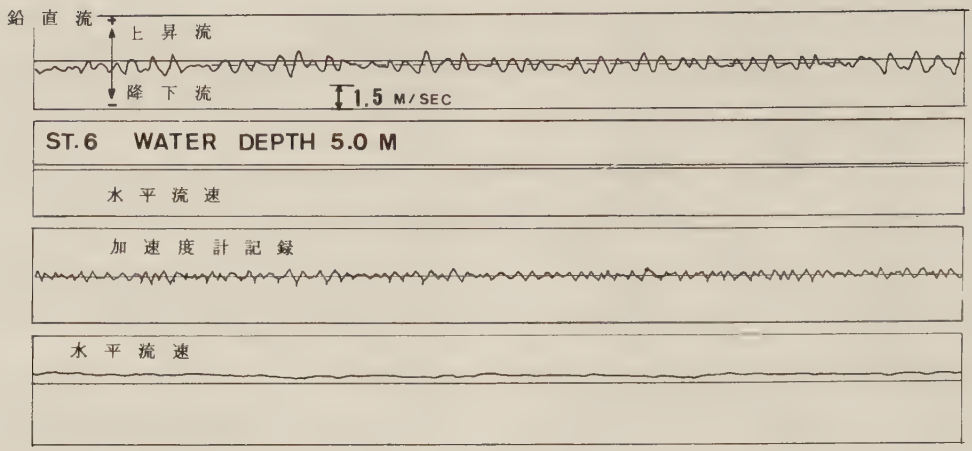


図 28　鉛直流観測結果代表例（St. 6）
Example data of vertical current observations

図 29　鉛直流観測結果（○ 58. 10. 5, ● 58. 10. 6）
Data of vertical current observations

値の差を鉛直流の値として求めた。鉛直流速 0 の基準線からの差が ＋，－ かによって上昇・降下流の判定を行った。図 29 に鉛直流の観測点及び観測結果を示す。測点番号 3～7 までは 10 月 5 日の記録で，また測点番号 10，14，18～23 までは 10 月 6 日に測定した。潮目ぞいに観測を行っていったため，測点番号 3～7，18～23 ともに滑面域をかこむ形になっている。潮目で発生している降下流は 20 cm/sec～30 cm/sec のオーダーの降下流速が観測された。

ニ）プランクトン観測調査結果

水塊混合の生物生産に対する寄与を把握するため，図 20 に示す St. 1 から St. 20 までの測点でネットでの水深 60 m 以浅の鉛直びき，及び 10 m，20 m，40 m，70 m 水深での採水を行い，プランクトン量を測定した。また図 23 に示す海域をバリオセンスを用いてクロロフィル濃度を測定した。なお，バリオセンスによるクロロフィルの測定結果は，この海域では非常にクロロフィルの量が少なかったため量的に把握することは出来なかった。そのため，海域での相対的な量として整理を行ない mV 単位で表示した。ネットによる測定値と採水器による測定値を単純に比較するのはスケール的に不可能なため，分布状況をグラフ化し，そこより全体を把握した。

図 30 は，バリオセンス観測による比較資料である。10 月 5 日，6 日と二回同じ海域を測定した。なお測定時の流況は，10 月 5 日は定点 A の観測によると 10 cm/sec～50 cm/sec の北東流速時であり，潮流速が弱流時に相当する。また 10 月 6 日も同様に北東流時で流速が 50 cm/sec～90 cm/sec の強流時に相当する。10 月 5 日の弱流時には，沿岸よりの影響が大きく礁の南東側に高い値を示している。10 月 6 日の強流時は礁全域に比較的高い値を示す。両流の共通の傾向は，礁直前に高い値を示すことと，礁の北西側の外海は低い値を示すことである。弱流時の特長は礁の東側の先に高い水塊が発生していることであり，強流時にもわずか北東側にづれているが高い値が表われていて判断はつかぬが定常的に起っている。以上，強流時と弱流時では明らかにクロロフィルの分布，すなわち，植物プランクトンの発生状況は違うことがわかる。

付表 2 は測定点における沈澱量の測定値を示した。図 31-(1) は，プランクトン分布を示す。また図 31-(2) は，ネット採集による記録の沈澱量と動物プランクトン量に

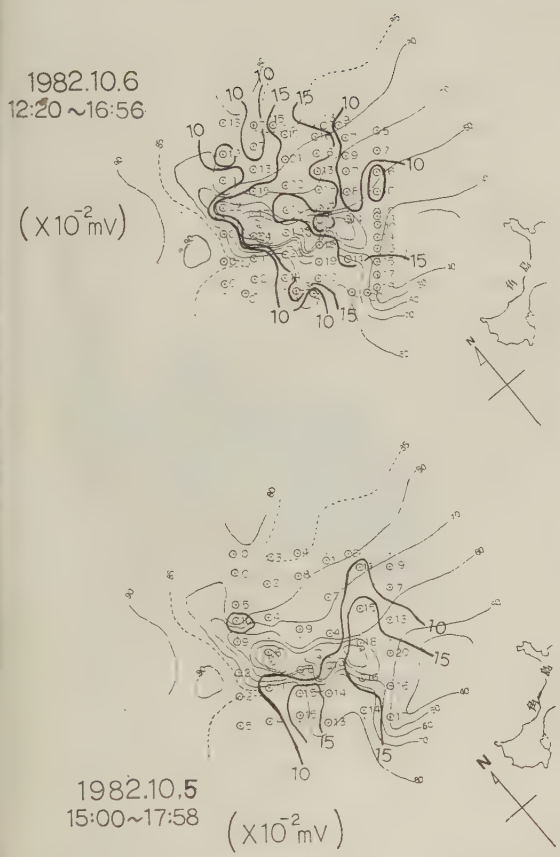


図 30　バリオセンスによるクロロフィル調査結果
Distribution of chlorophyll

図 31-(1)　プランクトン沈澱量の分布 (1982. 10. 7)
Distribution of plankton

つきグラフ化したものである。付表 3-(1)～付表 3-(4) は，植物プランクトン量と動物プランクトン量と不明体量を水深 10 m，20 m，40 m，70 m 層につき分析したもので，これをグラフ化したのが図 32-(1)～図 32-(3) である。なお不明体とは，識別不明のプランクトンにデトライタス等の底生物質が流れ等により浮遊物質量として入っているものと考えて整理した。

① 沈澱量について

図 31-(1) に表われているのは，礁より遠ざかるほど高い値を後方域で示している。これは全体を大きく見る事によって得られる傾向である。図 31 (2) より，より細かい礁による特性を見い出す。礁は St. 6，St. 11 の前方に存在し，礁によって影響を受け易い測点ラインは St. 6～10，St. 11～15 と思われる。礁の影響がかなり少ないと考えられる対象区 St. 1～5 のラインではプランクトン量は少ない。礁後方に位置する St. 6～10，St. 11～15 では礁直後の水域でプランクトン量が高い値を山状に示している。動物プランクトン分布も同様の傾向を示す。

② 1 l 採水によるプランクトン分布について

植物プランクトン（図 32-(1) 参照）についてはネット鉛直曳と同様の傾向を示す。表層 10 m でのプランクトンの発生は礁による影響と対応している。潮目発生域とも近所で高い値を示す傾向がある。

動物プランクトン分布（図 32-(2) 参照）については，各測点ごとほぼ均等に分布しており，礁の影響とみられる分布関係は得ることができなかった。一方，不明体量（図 32-(3) 参照）の分布については St. 11′ から St. 15 までの間に多く表われている。礁前の St. 11′ には水深 20 m，70 m 層に高い値を得ている。St. 11 では減少し，St. 12，13 で再度増大し，St. 14，15 でほぼなくなる。そのほかの測点では表われていない。クロロフィルの分布と，プランクトンの分布状況を比較すると，弱流時 (10 cm/sec～40 cm/sec) に礁の周辺の前底層の水塊は礁を越えることなく礁の周辺を迂回するため，礁の前面でのクロロフィル，プランクトン量は相対的に多くなる。また強流時 (70 cm/sec～120 cm/sec)，すなわち，礁を越えるのに十分な流速が起きるとき，礁後方域では礁を越えた流れと底層水の水塊混合が行われる。このとき，礁後での水塊混合による栄養添加が行われていることが，クロロフィル，プランクトンの分布が潮目等の発生域に局所的に高い増殖を示すことからもわかる。

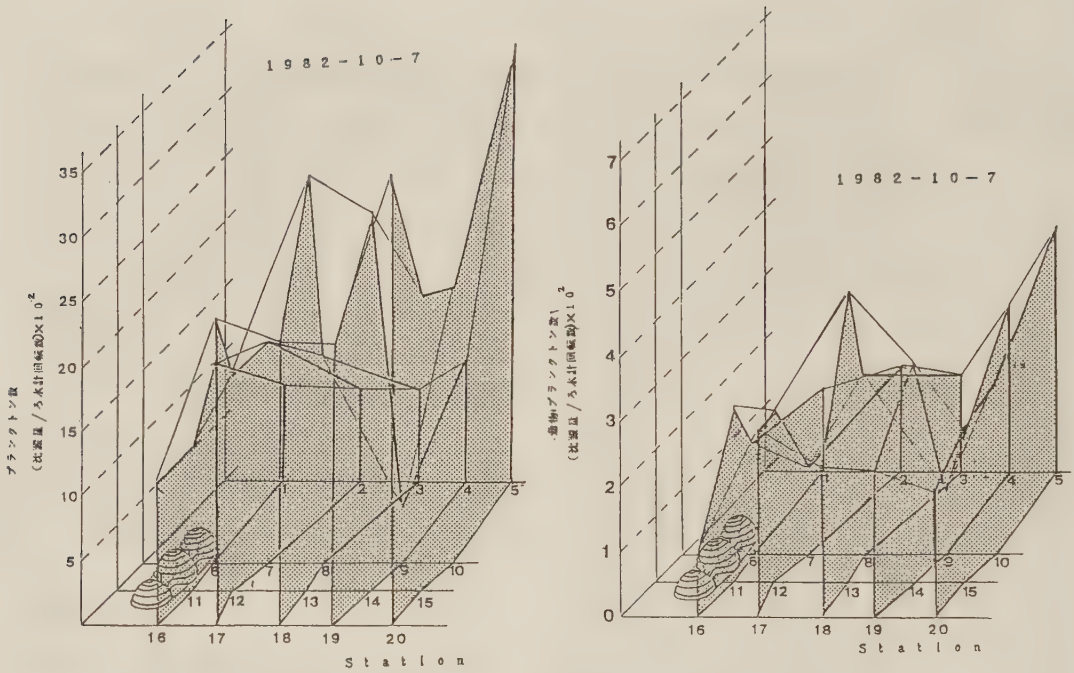


図 31-(2) 地点別プランクトン数の分布 (1982.10.7)
Distribution of numbers of plankton collected at the station shown in Fig. 20

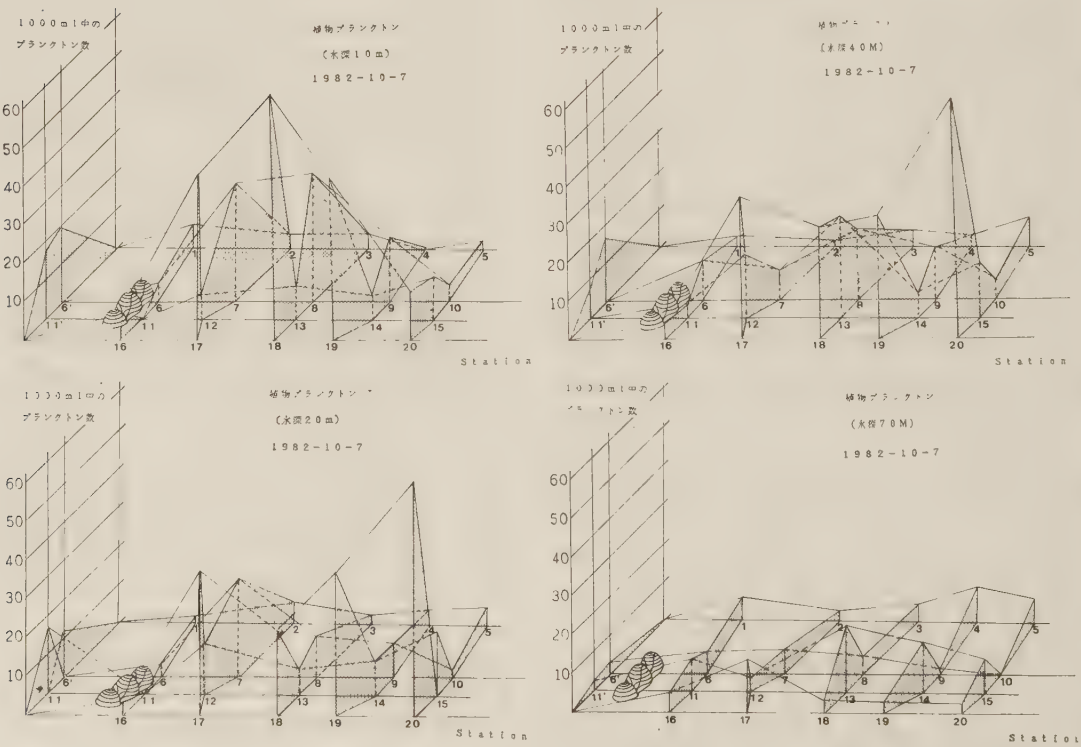


図 32-(1) 水深別・地点別植物プランクトン数の分布 (1982.10.8)
Distribution of numbers of phytoplankton collected at the station shown in Fig. 20

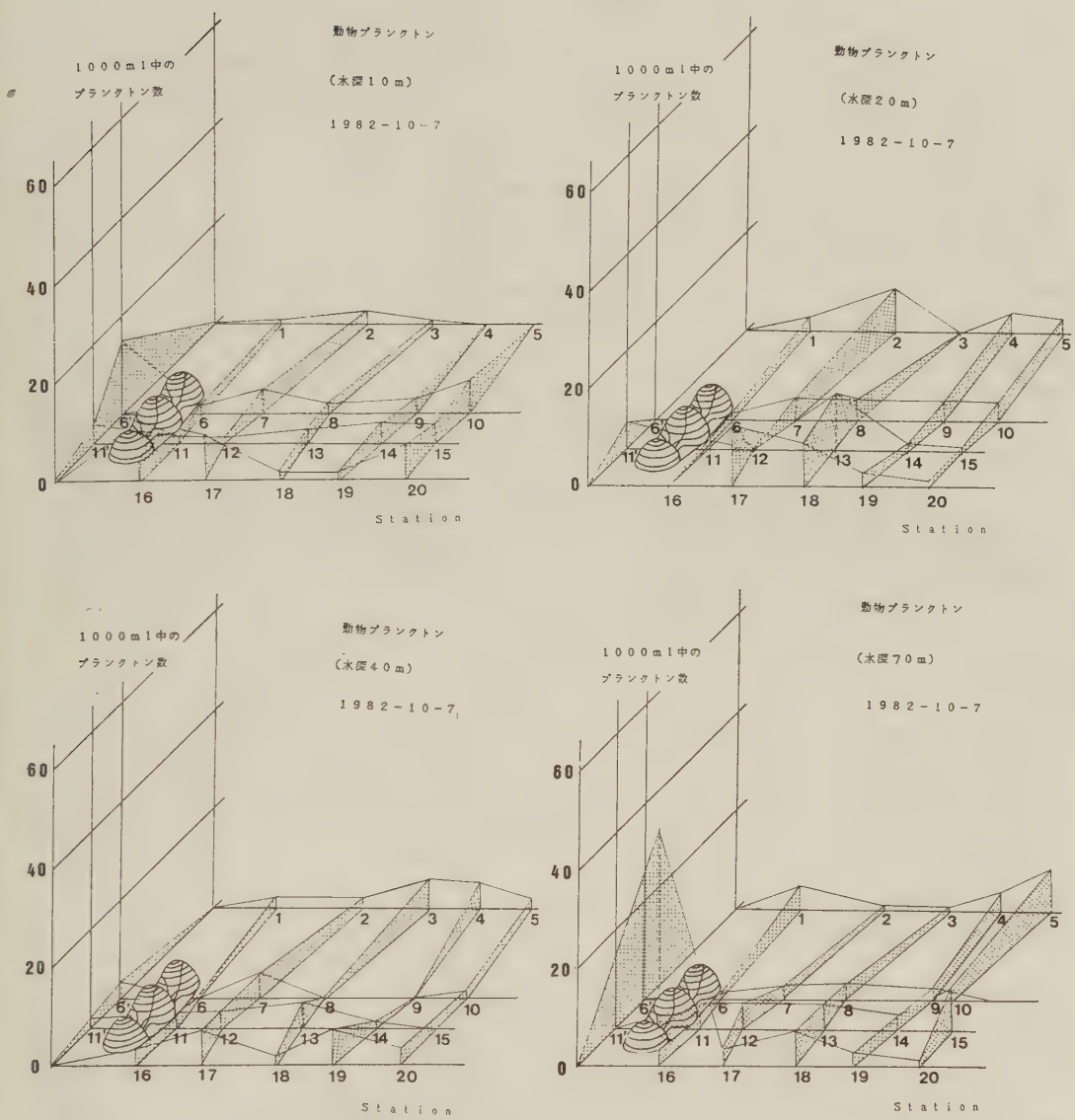


図 32-(2)　水深別・地点別動物プランクトン数の分布

Distribution of numbers of zooplankton collected at the station shown in Fig. 20

巨視的に見ると礁直後域はプランクトン量は低い値を示している。

昭和55年の山口外海水産試験場の図33に示す調査でも，同様な傾向が表われている。これは，礁による縮流によって流速が速くなり，移流による水平空間の引きのばしが起っているものと思われる。

ホ）魚群探知機による流動構造

昭和54年度から昭和56年度同様礁を横切る流動状況可視化のため，昭和57年度も魚探による流動可視化観測を行った。結果の代表例を図34に示す。図16の昭和56年7月の調査の記録と今回の調査記録を比較検討する。昭和56年度の調査記録例では，礁前で水深 15～20 m に躍層を持つ水塊が礁を越える際，縮流して礁を越えていく状況，また，礁を越えた流れは混合されている様子をみることができる一方，船上での滑面域とその滑面域にさざなみが観上てきなく，浮遊物の集積がみられる測目の観測位置を通過の際に，魚探にクサビ状の映像が現われることが確認されている。今回の調査記録図34

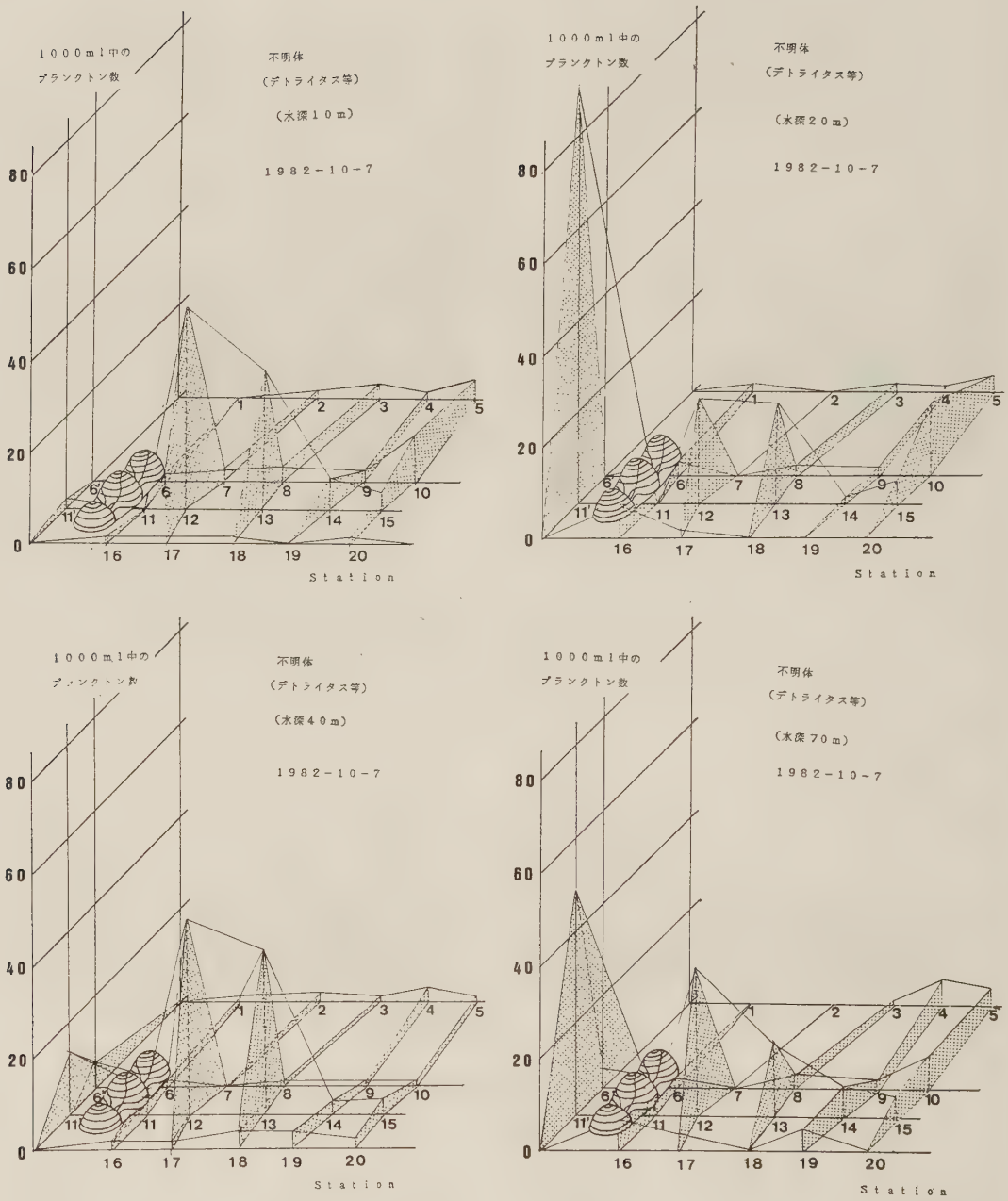


図 32-(3) 水深別・地点別不明体の分布

Distribution of numbers of indistinguishable objects collected at the station shown in Fig. 20

においても礁前の水塊が縮流して礁を越える様子がみられ，また礁の後方でくさび状の映像すなわち，潮目域と滑面域が観測される。

以上，昭和57年度の調査から明らかとなった事柄を要約すると以下の通りとなる。

① 汐巻礁での流れは，礁に直角方向への流れ（北東流）が卓越し，最大で，ほぼ 1.0 m/sec に達する。

② 礁の地形変化（凹凸）が通過後の流れ構造に特異な影響を及ぼし，流軸に直角な流れを形成している。これは，流軸に直角な循環流の発生，すなわち，地

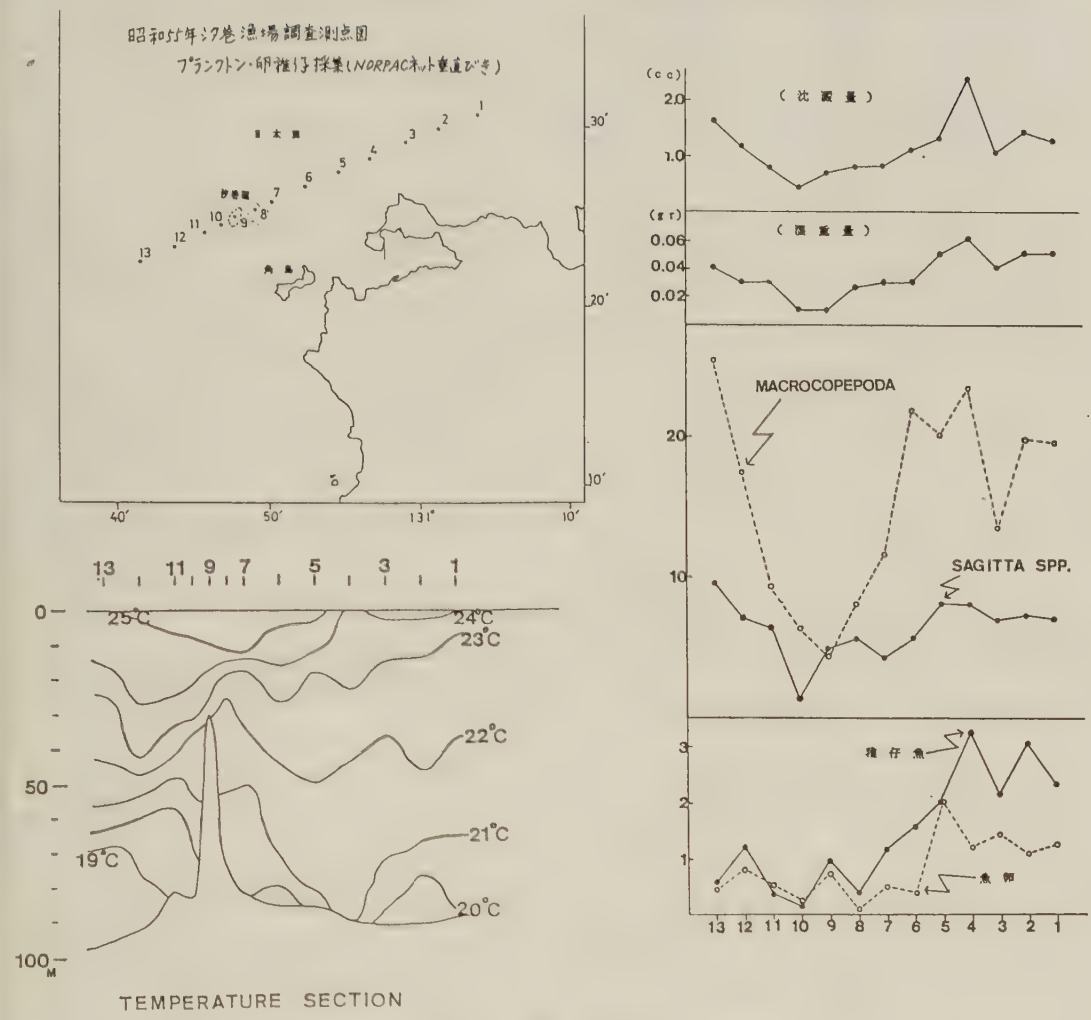


図 33　プランクトン量 (1980. 山口外海水試)

Distribution of plankton and water temperature
(after, 1980. YAMAGUCHI Fisheries Experimental Station)

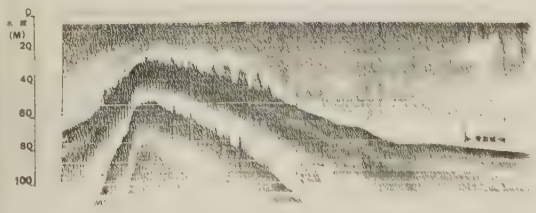


図 34　魚探による礁横断流影 (1980. 10. 7)

Example data of echo-sounder in 1982

形性の湧昇，降下流域の存在を示唆している。降下流速のオーダーは，20～30 cm/sec であった。

(3) 地形性の湧昇降下流の漁場形成への役割について[illegible]を指標として調査した結果，礁後の湧昇降下域においてプランクトン(植物プランクトン)[illegible]が観測され，それが移流効果によって礁後流域遠方に運ばれている傾向を示す結果が得られた。

5. 地形性渦の発生機構に関する理論的予察

前述のように現地では，渦の発生による上昇流が存在していることが観察される。この地形に起因して生じる上昇流の発生機構について若干の検討を加える。ナビアストークスの運動方程式は次式で示される。

$$\left.\begin{aligned}\frac{Du}{Dt}&=-g\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{p}{\rho g}+z\right)+\frac{\varepsilon_x}{\rho}\nabla^2u+2\omega v\sin\varphi\\ \frac{Dv}{Dt}&=-g\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{p}{\rho g}+z\right)+\frac{\varepsilon_y}{\rho}\nabla^2v-2\omega u\sin\varphi\\ \frac{Dw}{Dt}&=-g\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{p}{\rho g}+z\right)+\frac{\varepsilon_z}{\rho}\nabla^2w\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(1)$$

$$\frac{D}{Dt}\equiv\frac{\partial}{\partial t}+u\frac{\partial}{\partial x}+v\frac{\partial}{\partial y}+w\frac{\partial}{\partial z}$$

$$\nabla^2=\frac{\partial^2}{\partial x^2}+\frac{\partial^2}{\partial y^2}+\frac{\partial^2}{\partial z^2}$$

ここに，(u, v, w) は (x, y, z) 方向の平均流速成分，g は重力加速度，p は圧力，ρ は海水密度，ε は渦動粘性係数，ω は地球の自転角速度 $(2\pi/24\text{hr}=7.3\times10^{-5}\text{rad/sec})$，$\varphi$ は緯度を表わす。

次に質量保存則は海水を非圧縮性流体と考えると，

$$\frac{D\rho}{Dt}=\frac{\partial\rho}{\partial t}+u\frac{\partial\rho}{\partial x}+v\frac{\partial\rho}{\partial y}+w\frac{\partial\rho}{\partial z}=0\quad\cdots\cdots(2)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial v}{\partial y}+\frac{\partial w}{\partial z}=0\quad\cdots\cdots(3)$$

となる。

各式の各項のオーダーを検討する。図1で，礁中心を原点として，礁軸に直角方向を x 軸，平行方向を y 軸とすると，礁周辺の流れの現象の空間スケールは，$x=500\text{ m}$，$y=3,000\text{ m}$，$z=80\text{ m}$，時間は $t=T=12\text{ hour}=4.3\times10^4\text{sec}$ のスケール，流速は $u=0\sim1\text{ m/sec}$，$v=0\sim0.3\text{ m/sec}$ の現象が生じている。なお，$\sin\varphi=0.57$ (φ：北緯 34°24′)，w は直接観測されていないが，上記の現象スケールを (3) 式に用いて，

$$\frac{\partial u}{\partial x}=\frac{1}{500}=\mathrm{o}(-3),\quad\frac{\partial v}{\partial y}=\frac{0.3}{3000}=1.0\times10^{-4}$$

から

$$\frac{\partial w}{\partial z}\approx\frac{\partial u}{\partial x}$$

$$\therefore\quad w\approx0.16\text{ m/sec}$$

の流速が生じていると考えられる。これらのスケールを用いて，(1) 式，(2) 式のオーダーを検討する。

第1式についてみると，

$$\frac{\partial u}{\partial t}=\mathrm{o}(-5),\quad u\frac{\partial u}{\partial x}=\mathrm{o}(-3),\quad v\frac{\partial u}{\partial y}=\mathrm{o}(-4),$$

$$w\frac{\partial u}{\partial z}=\mathrm{o}(-3),\quad 2\omega v\sin\varphi=\mathrm{o}(-5),$$

$$\frac{\varepsilon_x}{\rho}\nabla^2u=\mathrm{o}(-6)$$

となり，(1) 式の左辺は $\mathrm{o}(-3)$ のオーダーで非定常項 $\partial/\partial t$ は省略される。右辺は左辺のオーダーと一致するが，$2wv\sin\varphi$，$\frac{\varepsilon_x}{\rho}\nabla^2u$ の項は左辺のオーダーに対し桁落ちするため省略できる。すなわちコリオリ項，粘性項は当地域のスケールでは無視することができる。従って，動水勾配 $g\cdot\partial(p/\rho g+z)/\partial x$ は，直接に観測されていないが左辺と等しいオーダーになるよう現象が生じなければならない。第2式は，

$$\frac{\partial v}{\partial t}=\mathrm{o}(-6),\quad u\frac{\partial v}{\partial x}=\mathrm{o}(-4),\quad v\frac{\partial v}{\partial y}=\mathrm{o}(-5),$$

$$w\frac{\partial v}{dz}=\mathrm{o}(-4),\quad\frac{\varepsilon_y}{\rho}\nabla^2v=\mathrm{o}(-6),$$

$$2\omega u\sin\varphi=\mathrm{o}(-5)$$

となり $\partial/\partial t$ の項は省略され，動水圧勾配は $\mathrm{o}(-4)$ のオーダーになる。

第3式も同様に

$$\frac{\partial w}{\partial t}=\mathrm{o}(-6),\quad u\frac{\partial w}{\partial x}=\mathrm{o}(-4),\quad v\frac{\partial w}{\partial y}=\mathrm{o}(-5),$$

$$w\frac{\partial w}{\partial z}=\mathrm{o}(-4),\quad\frac{\varepsilon_z}{\rho}\nabla^2w=\mathrm{o}(-6)$$

となり，$\partial/\partial t$ の項は省略され，動水圧勾配は $\mathrm{o}(-4)$ となり，運動方程式においては動水圧勾配は x 方向に -3 乗，$y\cdot z$ 方向に -4 乗のオーダーである。

(2) 式においては $\Delta\rho(=\rho_{54}-\rho_{14})=\mathrm{o}(0\sim3)$ (MKS 単位系) であり，x, y, z, u, v, w に前記の値を用いれば，

$$\frac{\partial\rho}{\partial t}=\mathrm{o}(-4),\quad u\frac{\partial\rho}{\partial x}=\mathrm{o}(-3),\quad v=\frac{\partial\rho}{\partial x}=\mathrm{o}(-4)$$

$$w\frac{\partial\rho}{\partial z}=\mathrm{o}(-3),$$

であり，第1項，第3項は無視できる。

以上の結果より，非定常項は省略され，礁近辺の流況は定常流として扱うことができる。すなわち，時々刻々に変る境界における流速，潮位を境界条件とする定常的非定常流としての扱いが可能である。また $\partial/\partial y$ の項は上記の諸式でオーダーが1桁小さく，以上を整理すると，

$$u\frac{\partial u}{\partial x}+w\frac{\partial u}{\partial z}=-g\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{p}{\rho g}+z\right)\cdots\cdots(4)$$

$$u\frac{\partial v}{\partial x}+w\frac{\partial v}{\partial z}=-g\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{p}{\rho g}+z\right)\cdots\cdots(5)$$

$$u\frac{\partial w}{\partial x}+w\frac{\partial w}{\partial z}=-g\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{p}{\rho g}+z\right)\cdots\cdots(6)$$

$$u\frac{\partial \rho}{\partial x}+w\frac{\partial \rho}{\partial z}=0\cdots\cdots(7)$$

$$\frac{\partial u}{\partial x}+\frac{\partial w}{\partial z}=0\cdots\cdots(8)$$

ここで，(4) 式及び (6)(7) 式までは，v に関する項を含まないので，この 4 個の式で u, w, p, ρ が定まり，この結果を (5) 式に適用して v が求まることになる。すなわち，この現象は $x-z$ 面なる鉛直断面における，2 次元定常流として議論されることになる。(4) 式，(6) 式の各項に dx, dz を乗じて加算し，積分を行なう。このとき礁を越える前の流れは渦なしと考えてよいから，

$$u\frac{\partial u}{\partial x}dx+w\frac{\partial u}{\partial z}dx+\frac{\partial w}{\partial x}dz+w\frac{\partial w}{\partial z}dz$$
$$=-g\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{p}{\rho g}+z\right)dx-g\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{p}{\rho g}+z\right)dz$$

ここで渦なし条件

$$\frac{\partial u}{\partial z}-\frac{\partial w}{\partial x}=0$$

を用いると，

$$\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{u^2}{2}\right)dx+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{u^2}{2}\right)dz+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{w^2}{2}\right)dx+\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{w^2}{2}\right)dz$$
$$=-g\left\{\frac{\partial}{\partial x}\left(\frac{p}{\rho g}+z\right)dx+\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{p}{\rho g}+z\right)dz\right\}$$

$$\therefore\quad d\left(\frac{u^2}{2}\right)+d\left(\frac{w^2}{2}\right)+g\cdot d\left(\frac{p}{\rho g}+z\right)=0$$

積分して，

$$\frac{u^2+w^2}{2}+g\left(\frac{p}{\rho g}+z\right)=E_0\cdots\cdots(9)$$

または，

$$\frac{u^2+w^2}{2g}+\frac{p}{\rho g}+z=E\cdots\cdots(10)$$

となり，ベルヌーイの式となる。ここで，(10) 式第 1 項は速度水頭で，$q^2=u^2+w^2$ とおき，$p/\rho g+z$ は動水圧水頭 H とおくと，

$$\frac{q^2}{2g}+H=E\cdots\cdots(11)$$

となる。

この流速は，平均流の流線であり，礁を越え激しいじょう乱を受けるまで成り立つと考えることができる。この流れは，礁を越えるときに縮流を受け，越えた後では，流速の $y-z$ 断面における分布が，礁の地形によって変化し，流軸に直角なる 3 次元の渦が発生するこの渦の顕著な例として，礁などの下流で発生している上昇・降下流があげられる。これは地形に固有の流況分布として動水圧低下を生ずる位置，動水圧上昇を生じる位置が平均流毎に定まり，地形性後流として同じ位置で発生し，上昇・降下流による混合された水塊が平均流によって運ばれ，環境的にみた後流域を形成する。礁の下流域では礁高の高低分布によって礁の越流速が y 方向に異なった分布となる。

すなわち，(1) 式を y で微分すると，

$$\frac{\partial}{\partial y}\left(\frac{q^2}{2g}+H\right)=0,\quad \frac{\partial H}{\partial y}=-\frac{1}{2g}\cdot\frac{\partial q^2}{\partial y}\cdots\cdots(12)$$

y 方向の動水圧水頭差 δH は，$y-z$ 面に新たな流れ v' を起こさせることになる。$y-z$ 面上の 2 点 a, b 間に生じる流速 v' は，

$$\delta H=\int_a^b\frac{\partial H}{\partial y}dy=-\frac{1}{2g}\int_a^b\frac{\partial q^2}{\partial y}dy=\frac{v'^2}{2g}\cdots\cdots(13)$$

よって，

$$v'=\sqrt{q_b^2-q_a^2}\cdots\cdots(14)$$

となる。

また，鉛直方向にも同様の展開が可能で，

$$w'=\sqrt{q_b^2-q_a^2}\cdots\cdots(15)$$

が導かれ，$v'\approx w'$ が成り立つ。式 (15) による値は，ほぼ上昇・降下流速と同じオーダーの値が得られることが確かめられる。この流れは，地形によって起された平均流の流速分布によって作られたものであるから，地形に固定した渦である。またこの渦は混合によって新水塊を形成し密度的安定層に落着くまで主流によって移送され，後流域を形成する。

結　　言

昭和 54 年度から昭和 57 年度に亘る 4 ケ年間の中規模礁（数 km）による流動特性の現地実態調査の結果以下の事柄が明らかとなった。

① 礁によって生じる湧昇流は従来考えられていた礁を駆け上る流れの慣性によって上層に湧昇するのではなく礁を越える際に流速分布に変化を生じ，これによって圧力分布を生じ遅い流れの場から早い流れの場に，主流に垂直な平面上にスパイラル状に湧昇降下流を生じる。このことは，2 によって裏付けられる。

② 礁下流域での上昇・降下流速は滑面域での上昇流

速は非常に小さいが潮目域での降下流速は圧力場の変動として求めた流速のオーダーとほぼ同じ，o(1)のものが観測された。

③ 礁後流域で発生する鉛直混合で生じた新らしい水塊は，新らしい密度となるので安定成層をもとめて中層に割込む。これは位置のエネルギーをもった流れであるので広域に流れを持続する。また，この水塊は栄養塩，水温等が新らしく形成されたものであり，この層が光合成域に達する層であればプランクトンの発生等増殖環境を形成する。

④ 潮目域の観測結果から地形に起因した形で起っていることが確認され，また，その域においてプランクトンの分布が相対的に他水域に比較して濃密であることが明らかとなった。

以上によって礁を越える流れについてベルヌーイ則による数理シミュレーションで圧力場の変動を求めることによって2次流として鉛直混合を計算することができる。これについて今後は，礁の規模，凹凸間隔等による地形性湧昇流の発生機構について，模型実験により更に詳細に研究し数理シミュレーション手法を開発して行く必要があろう。

参考文献

1) 中村 充・上北征男・木村晴保・藤井泰司・大竹臣哉：礁による流動環境に関する研究，第27回海岸工学講演会論文集，土木学会，p. 522～526, 1980

2) 大久保明：海洋物理Ⅰ，第Ⅲ編 海洋乱流・拡散 東海大学出版会，海洋科学基礎講座 1, p. 267～321, 1970

付表 1　地点別・種類別のプランクトンの分析結果

Numbers of plankton collected at the station shown in Fig. 20

1ℓ中のプランクトン数（50M鉛直曳き）	観測点	植物			動物												不明	合計
		葉状植物			原生動物			腔腸	軟体	節足動物				毛類動物	脊索動物他			
		珪藻		藍藻						甲殻								
		円心	羽状	糸状	渦鞭毛類	有鐘繊毛	放散虫類	ヒドロ虫		枝角	橈脚	エビカニ類	バン脚類不明幼体	矢虫	幼形・サルパ他			
	1	2.3			16.0	5.0	5.8				20.5	1.3		0.3	尾虫 1.0 サルパ 0.5		0.5	52.7 (53.2)
	2	0.9			19.6	1.7	11.7			0.4	4.4	カニ 0.1		0.6	魚卵 04 尾虫 04 サルパ 11 クモヒトデ 09		0.9	41.4 (42.3)
	3	1.8			11.8	4.3	21.5				4.7	カニ 0.2		0.2	魚卵 0.5 サルパ 1.3		0.5	46.3 (46.8)
	4	2.1			33.6	9.4	25.5				11.9	カニ 0.4		0.4	尾虫 0.8 サルパ 0.4		1.1	84.5 (85.6)
	5	9.8			73.2	24.1	75.6				20.0			2.7	尾虫 2.7 サルパ 2.7			210.8
	6	3.9			28.1	3.3	30.6	0.6	0.6	1.4	13.0	エビ 1.4			多毛類 1.4 サルパ 1.4 尾虫 2.5			88.2
	7	6.4			30.6	6.4	22.6				7.4	エビ 0.6 シャコ 1.0		4.8	多毛類 05 魚卵 06 サルパ 06 クモヒトデ 05 05			82.8
	8	4.9			42.3	20.6	94.4			0.7	8.7	シャコ 1.4		0.7	尾虫 0.7 サルパ 2.8			177.2
	9				3.3	1.2	8.3				1.8		フジツボ 0.2	0.6	多毛類 0.4			15.8
	10	5.3			45.2	5.3	113.5	0.8		0.8	11.0				尾虫 0.8			182.7
	11	4.6			20.5	3.8	56.6			0.4	8.6			1.0	サルパ 1.3			96.8
	12	2.1			41.3	6.4	77.1		巻貝 1.5	0.6	10.1	シャコ 0.6		0.6	尾虫 1.5 多毛類 0.6 サルパ 0.6			143.0
	13	9.4			83.2	5.6	217.9				20.2			1.3	多毛類 4.3 尾虫 4.3 サルパ 6.9			353.1
	14	9.8			78.8	8.9	150.1	1.3		1.3	20.0	エビ 2.2	フジツボ 1.3		サルパ 6.2			279.9
	15	1.8			45.5	6.6	77.5		巻貝 1.1	1.1	11.4		フジツボ 1.1		尾虫 1.8 多毛類 1.1 サルパ 3.0			151.9
	16	0.5			9.3	0.9	11.1				2.3				尾虫 0.9 多毛類 0.9 サルパ 0.5			26.4
	17	1.9			52.4	5.0	111.0	1.9			15.9		フジツボ 1.2	5.0	魚卵 1.9 サルパ 3.1			199.3
	18	3.6			40.1	5.4	109.1			0.9	20.3			4.5	多毛類 09 魚卵 18 尾虫 18 サルパ 09		0.9	189.3 (190.2)
	19	6.4			39.5	7.3	100.8				12.9	0.9		6.4	魚卵 0.9 サルパ 0.9			176.0
	20	4.2			58.9	7.2	120.8				14.4	1.2		1.2	サルパ 1.2			209.1
	6'	2.6			16.2	2.6	32.8	0.4			6.0			0.6	多毛類 1.7 尾虫 0.6 サルパ 0.4		0.4	63.9 (64.3)
	11'	3.3			28.7	4.1	48.8	0.5	巻貝 0.5		8.4			0.5	尾虫 1.5 多毛類 0.5 サルパ 0.5			97.3
	'																	

付表 2-(1) 地点別・種類別プランクトン数の分析結果
(10 m 水深リッター採取による)

Numbers of plankton below the water depth 10m shown in Fig. 20

1ℓ中のプランクトン数 WATER DEPTH 10 M	観測点	植物			動物												不明	合計
		葉状植物			原生動物			腔腸	軟体	節足動物				毛類動物	脊索動物他			
		珪藻		藍藻	渦鞭毛類	有繊毛虫類	放散虫類	ヒドロ虫		甲殻				矢虫	幼形・サルパ他			
		円心	羽状	糸状						枝角	橈脚	エビガニ類	ハン脚類不明幼体					
	1	1.0	5.9								1.0							7.9
	2	4.0			2.0		1.0										1.0	7.0 (8.0)
	3		4.4		1.1												3.3	5.5 (8.8)
	4																1.0	0 (1.0)
	5		1.9														3.9	1.9 (5.8)
	6		5.8		1.0	1.0											1.0	7.8 (8.8)
	7		29.8	1.9	3.8	1.0											1.9	36.5 (38.4)
	8		33.6		2.0												3.0	35.6 (38.0)
	9		9.6	8.6	1.9						1.0						1.9	21.1 (23.0)
	10		6.0		6.0										輪虫 1.9		11.9	13.9 (25.8)
	11										1.6							1.6
	12		6.4		1.6												44.8	8.0 (52.8)
	13		6.5	1.6	1.6		1.6										29.1	11.3 (40.4)
	14		6.4		1.6		3.2										6.4	11.2 (17.6)
	15	1.6	4.8	4.8			3.2										3.2	14.4 (17.6)
	16		6.6		6.6		3.3								輪虫 1.6		1.6	18.1 (19.7)
	17		43.8		5.1		3.4										1.7	52.3 (54.0)
	18	1.6	58.8	1.6		1.6											1.6	63.6 (65.2)
	19	40.2					1.7											41.9
	20		13.3		6.7												1.7	20.0 (21.7)
	6'	1.6	12.8	4.8	8.0		4.8											32.0
	11'	1.6	14.5	1.6			1.6				1.6						1.6	20.9 (22.5)

付表 2-(2)　地点別・種類別プランクトン数の分析結果
(20 m 水深リッター採取による)

Numbers of plankton below the water depth 20m shown in Fig. 20

1ℓ中のプランクトン数 WATER DEPTH 20 M	観測点	植物			動物													不明	合計
		葉状植物			原生動物			腔腸	軟体	節足動物					毛顎動物	脊索動物他			
		珪藻		藍藻						甲殻									
		円心	羽状	糸状	渦鞭毛類	有鐘繊毛	放散虫類	ヒドロ虫		枝角	橈脚	エビガール類	ハン脚類不明幼体		矢虫	幼形・サルパ他			
	1	0.8	0.8		0.8	0.8										尾虫 0.8		0.8	4.0 (4.8)
	2		4.9	2.0	3.0		3.0								1.0	サルパ 1.0			14.9
	3	1.0	1.0															2.0	2.0 (4.0)
	4		5.0		2.0										2.0			0.9	9.0 (9.9)
	5		5.9		1.0		1.0								1.0			3.0	8.9 (11.9)
	6	1.0	2.9			1.0												2.9	4.9 (7.8)
	7		25.3	1.0	1.0	1.0										サルパ 輪虫 1.0 1.0			30.3
	8		11.6		2.9	1.0												1.9	15.5 (17.4)
	9		7.8	1.9	1.0		2.9											1.9	13.6 (15.5)
	10		1.9		3.9													16.9	5.8 (22.7)
	11							1.6											1.6
	12		9.6	3.2														20.9	12.8 (33.7)
	13		6.4		9.6											輪虫 1.6		20.8	17.6 (38.4)
	14		8.2		1.6													1.6	9.8 (11.4)
	15	1.6	8.0	8.0												輪虫 1.6		4.8	19.2 (24.0)
	16	1.7	1.7															6.7	3.4 (10.1)
	17	1.6	34.4	1.6	3.3		4.9	1.6								輪虫 1.6		1.6	49.0 (50.6)
	18		21.6		5.0		1.7									輪虫 1.7			30.0
	19	3.3	32.9				3.3												39.5
	20		60.2		1.6														61.8
	6'		11.1	1.6														4.8	12.7 (17.5)
	11'	1.6	16.0		1.6		3.2											185.5	22.4 (207.9)

付表 2-(3) 地点別・種類別プランクトン数の分析結果
(40 m 水深リッター採取による)

Numbers of plankton below the water depth 40m shown in Fig. 20

1ℓ中のプランクトン数 WATER DEPTH 40 M	観測点	植物			動物													不明	合計
		葉状植物			原生動物			腔腸	軟体	節足動物				毛類動物	脊索動物他				
		珪藻		藍藻	渦鞭毛類	有鐘繊毛	放散虫類	ヒドロ虫		甲殻				矢虫	幼形・サルパ他				
		円心	羽状	糸状						枝角	橈脚	エビガニ類	ハン脚類不明幼体						
	1		2.9				1.0	1.0										1.0	4.9 (5.9)
	2	1.0		1.0	1.0		1.0											2.0	4.0 (6.0)
	3		3.9	1.0	3.0	1.0	1.0							1.0				1.0	10.9 (11.9)
	4	1.0	2.0		1.0		2.0				1.0			1.0				3.0	8.0 (11.0)
	5	1.0	7.9			2.0												1.0	10.9 (11.9)
	6		10.6															1.0	10.6 (11.6)
	7		7.8		1.0		2.0							1.0		尾虫 1.0			12.8
	8		11.6	7.8														1.0	19.4 (20.4)
	9		10.3	4.1														1.0	14.4 (15.4)
	10		3.9		1.9													1.2	5.8 (7.0)
	11		3.3		1.7												尾虫 1.7	5.0	6.7 (11.7)
	12		14.4	1.6	3.2													40.0	19.2 (59.2)
	13		25.7		1.6		3.2											33.7	30.5 (64.2)
	14		6.4		1.6													3.2	8 (11.2)
	15		6.4	6.4														3.2	12.8 (16.0)
	16			3.3	3.3													1.6	6.6 (8.2)
	17		36.2		3.3		1.6				1.6							1.6	42.7 (44.3)
	18		26.6	1.7							1.7							3.3	30 (33.3)
	19		28.0	3.3	3.3		3.3											1.6	37.9 (39.5)
	20		57.9	3.3	1.7		1.7											1.7	64.6 (66.3)
	6'		14.3	1.6	1.6		1.6											4.8	19.1 (23.9)
	11'		8.0		1.6													12.8	9.6 (22.4)

付表 2 (4)　地点別・種類別プランクトン数の分析結果
(70 m 水深リッター採取による)

Numbers of plankton below the water depth 70m shown in Fig. 20

1ℓ 中のプランクトン数 WATER DEPTH 70 M	観測点	植物			動物												不明	合計
		葉状植物			原生動物			腔腸	軟体	節足動物				毛類動物	脊索動物他			
		珪藻		藍藻						甲殻								
		円心	羽状	糸状	渦鞭毛類	有鐘繊毛	放散虫類	ヒドロ虫		枝角	橈脚	エビコ類	バン脚類不明幼体	矢虫	幼形・サルパ他			
	1	3.0	3.0		5.1													11.1
	2		3.0		1.0		1.0											5.0
	3		5.0				1.0										1.0	6.0 (7.0)
	4	2.0	9.0			2.0	2.0								尾虫 1.0 輸虫 1.0		5.0	17.0 (22.0)
	5	1.0	6.1	1.0	3.0	1.0	3.0				1.0						4.0	16.1 (20.1)
	6	1.0	5.0		1.0												2.0	7.0 (9.0)
	7		5.8	1.0			2.9											9.7
	8		4.6	1.5	1.5		1.5										3.1	9.1 (12.2)
	9			1.1			1.1				1.1						2.2	3.3 (5.5)
	10																9.0	0.0 (9.0)
	11		8.0		3.2		1.6										3.2	12.8 (16.0)
	12		3.2		1.6		3.2										30.3	8.0 (38.3)
	13		19.2		3.2		1.6										14.4	24.0 (38.4)
	14		12.9				1.6							1.6			6.5	16.1 (22.6)
	15		8.1	1.6	3.2	1.6	3.2										4.8	17.7 (22.5)
	16		3.3	1.6	14.8		16.4				1.6			1.6	魚卵 1.6 多毛類 8.2		4.9	49.1 (54.0)
	17	1.7	11.7		1.7		1.7										3.3	16.8 (20.1)
	18		3.3		3.3		3.3											9.9
	19		3.3		3.3												4.9	6.6 (11.5)
	20		3.3		1.4													4.7
	6'		3.3		3.3		1.6										3.3	8.2 (11.5)
	11'		1.8				1.8										44.5	3.6 (48.1)

Observation of the Upwelling Causing Behind the Large Reef in Case of Siomaki, Yamaguchi Pref.

By

Yukio UEKITA, Makoto NAKAMURA, and Yoshiaki HIDESHIMA

Summary

In near reefs, the better fishing ground were generally formed. To investigate the water current movements and water characteristics around the reef, a series of direct obsevation studies were carried out from 1979 to 1982 the SIOMAKI reef. SHIOMAKI laid in the water depth 80 meter far out at YUYA Bay, YAMAGUCHI pref. and nearly perpendicular to water current direction, its length was 4 km and its heights was 40～60 meter.

As results, some phenomena concerning the water current movements over the reef and water characteristic arround the reef were found as follows.

(1) Two water currents phenomena was observed.

When the water currents velocity was fast, the water current was running over a top of reef and when the water current velocity was slow, the bottom water current was going arround a reef.

(2) In case of the former, the front and upwelling were observed in sea region behind the reef. The upwelling velocity was 1.0～6.0 cm/sec and down stream velocity was 10～30 cm/sec.

(3) It could be drawn interference from water current observation that the upwelling and down stream was generated by the deference of pressure occuring when the water current was running over top of the reef.

(4) As the results of plankton distribution in the sea behind reef, it is assumed that the plankton was collectted in the sea region of upwelling.

As the remain problems, it is necessary to clear up the upwelling mechanism occrring behind to the reef.

水工研報告 5
1984 pp. 67~79

過圧密粘性土の破壊強度特性

大 槇 正 紀*

目 次

1. 緒 論……67
2. 試料及び試験方法……67
2.1 試 料……67
2.2 試験方法……67
3. 試験結果……68
4. 過圧密粘性土の強度表示式……70
5. 試験結果の解析……71
5.1 著者の試験結果の解析……71
5.2 他の研究者による試験結果の解析……72
6. 考 察……73
6.1 各実験パラメーターと塑性指数との関係……73
6.2 過圧密粘性土の c_u/p と塑性指数との関係…76
7. 結 論……77
参考文献……77
Summary……79

1. 緒 論

漁港構造物の基礎の安定性の検討において，基礎地盤の強度を正確に把握することは重要である。漁港構造物が築造される多くの地盤は沖積地盤であり，その形成年代は新しい。したがって，一般的に地盤は正規圧密状態にあると考えることができ，その強度算定に当っても正規圧密土の強度算定方法によればよい場合が多い。しかし，このような正規圧密地盤上に構造物を築造する場合でも，掘削，浚渫等により人工的に地盤の有効土かぶり圧を減少させるような場合は，地盤は過圧密状態になり過圧密土の強度特性を考慮に入れた長期安定問題としての安定性の検討が必要である。また，粘性土試料のサンプリングの場合を考えると，この場合，サンプリングにより地中の有効土かぶり圧は除去され，土試料は過圧密状態になっていると思われる。このような場合，土試料の強度と現場強度の関係を求めるためには，過圧密土の強度特性を考慮に入れた解析が必要となる。

以上にみてきたように，過圧密地盤の安定性を検討する場合は勿論のこと，正規圧密地盤の安定性の検討においても，過圧密状態にある土の強度特性を解明することは重要である。

本文は，練返し再圧密試料を用いて，種々の過圧密比のもとに，三軸圧縮及び伸張せん断試験を行った試験結果を示した。また，この試験結果をもとにして，過圧密土の強度を表わす表示式を示すとともに，この表示式により，著者の試験結果及び他の研究者による結果について，その妥当性の検討を行ったものである。

* 水産土木工学部

土試料の三軸試験は京都大学防災研究所で行ったものであり，その結果の検討をその後，本研究所で行った。実験に当っては，京都大学防災研究所柴田徹教授に御指導頂き，同清水博樹技官に実験の補助を頂いた。ここに両氏に対し，心からの謝意を表する次第である。

2. 試料及び試験方法

2.1 試 料

試験に用いた試料は市販粉末粘土であり，これを練返し再圧密したものである。試料の物理特性は，$w_L=44\%$，$w_P=26\%$，$PI=18\%$，$G_S=2.648$ である。

試料は最大圧密圧力 $49\,kPa$ で練返し再圧密したものであるが作製の詳細については文献[1]を参照されたい。

2.2 試験方法

試験は予備圧密試験と本試験の2段階より成る。予備圧密試験は本試験に先立って，供試体に大きな先行圧密荷重を与えることにより過圧密状態をつくり出すための試験である。予備圧密用三軸セルは，側圧約 $2,500\,kPa$ まで加圧可能のものを使用した。試験は，直径約 50 mm，高さ約 90 mm の円柱供試体を予備圧密用三軸セルにセットし，スリット状ロ紙で周囲を巻き，周面排水条件とする。供試体の両端面に摩擦軽減のため，シリコングリスを塗布したアクリル円板をそう入した。予備圧密は，周圧を 98, 196, 392, …, kPa のように倍になるように1日毎に上げていき，所定の最大圧密圧力 p_c

まで等方圧密を行う。この後，載荷時と同じ応力段階で1日毎に除荷していく。除荷が終了した後，三軸セルより取出して，本試験に移行する。

本試験で使用した試験機は NGI 型三軸試験機である。予備圧密試験終了後，取出した供試体はただちに，直径約 35 mm，高さ約 80 mm に成形し直した後，三軸セルにセットする。ここでもスリット状ロ紙を供試体周面に巻き，供試体両端面にはシリコングリスを塗布したアクリル円板をそう入して，周面排水条件とした。供試体セット後，側圧 49 kPa より所定の圧密圧力まで2倍ずつ増加させ，各段階1日間ずつ等方圧密を行う。所定の圧力での圧密が終了した後，排水条件又は非排水条件のもとで，三軸圧縮又は三軸伸張せん断する。せん断はすべて，変位速度一定のひずみ制御条件で行った。また，排水せん断試験は，三軸圧縮，伸張ともに平均主応力が常に一定になるように，側圧を手動で制御しながら試験を行った。せん断中の軸ひずみ速度 $\dot{\varepsilon}_1$ は，排水せん断試験で約 0.8×10^{-3}%/min，非排水せん断試験で約 0.8×10^{-2}%/min である。

試験はすべて 20°±0.5°C の恒温室で行った。

3. 試験結果

表1に，平均主応力 p 一定の排水条件のもとに行った三軸圧縮試験の一覧を示す。表中，p_c は最大圧密圧力，p はせん断中の平均主応力，q_f，q_r はそれぞれピーク時及び残留時の軸差応力，OCR は過圧密比（$=p_c/p$），Δe_f は正規圧密試料（DC 1，DC 10）のせん断開始時からピーク時までの間隙比の減少量である。

表2に，平均主応力 p 一定の排水条件のもとに行った三軸伸張試験の一覧を示す。DE 1 は正規圧密試料であり，他は過圧密試料の試験である。表中の記号は表1の場合と同じである。

表3に非排水条件下での三軸圧縮試験結果を示す。$(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ 基準と $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ 基準による破壊時の p_f，q_f 及び残留時の p_r，q_r を示している。また，p_i はせん断開始時の平均有効主応力である。

なお，表1～3に示した各試験は，三軸圧縮の場合で，軸ひずみが 17～20%，三軸伸張の場合で 7～13% まで行っている。各表の残留時の値として，各試験のせん断最終時の値を用いた。この時点で，供試体の間隙比又は過剰間隙水圧はほぼ一定の状態に落ち着いている。

図1に，平均主応力一定下での排水せん断試験結果のうち，せん断時の平均主応力が 196 kPa の各試験（DC 1～DC 5）の圧密時，膨潤時，再圧縮時及びピーク時の e～log p 関係を示す。せん断開始時からピーク時までの間隙比の変化をみると，p_c が 196 kPa（DC 1）と 392

表 1 三軸圧縮試験結果（排水条件）

Table 1 Experimental result of triaxial compression tests under draind condition

No.	P_c kPa	p kPa	q_f kPa	q_r kPa	OCR	Δe_f
DC 1	196	196	275	267	1	0.0535
DC 2	392	196	269	246	2	—
DC 3	784	196	289	259	4	—
DC 4	1,568	196	303	286	8	—
DC 5	2,352	196	325	257	12	—
DC 6	1,568	392	542	466	4	—
DC 7	1,568	98	179	153	16	—
DC 8	1,568	98	186	154	16	—
DC 9	1,568	392	599	523	4	—
DC 10	392	392	559	512	1	0.0559

表 2 三軸伸張試験結果（排水条件）

Table 2 Experimental result of triaxial extension tests under drained condition

No.	p_c kPa	p kPa	q_f kPa	q_r kPa	OCR	Δe_f
DE 1	196	196	209	171	1	0.0307
DE 2	1,568	98	142	94	16	—
DE 3	1,568	196	246	186	8	—
DE 4	1,568	392	452	383	4	—

表 3 三軸圧縮試験結果（非排水条件）

Table 3 Experimental result of triaxial compression tests under undrained condition

No.	p_c kPa	p_i kPa	p_f $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ kKa	q_f $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ kPa	p_f $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ kPa	q_f $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ kPa	p_r kPa	q_r kPa
UC 1	1,568	98	226	340	152	246	227	311
UC 2	1,568	196	272	380	250	358	273	366
UC 3	1,568	392	457	642	444	627	471	601

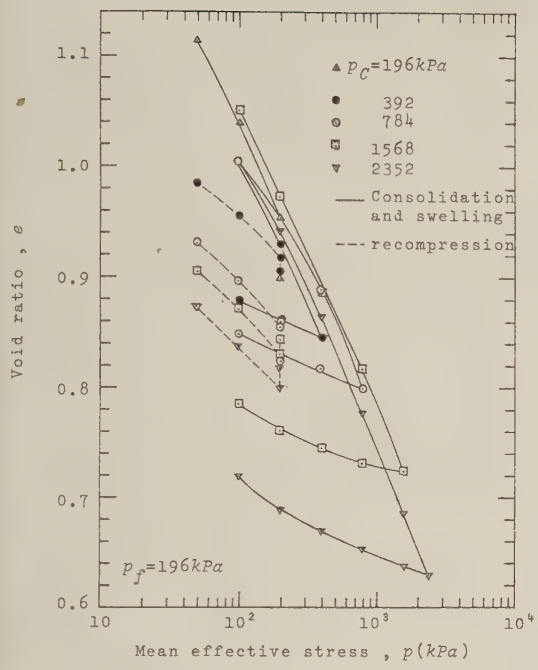


図 1　e～log p 関係（$p_f=196\,kPa$）
e～log p relationship at peak state（$p_f=196\,kPa$）

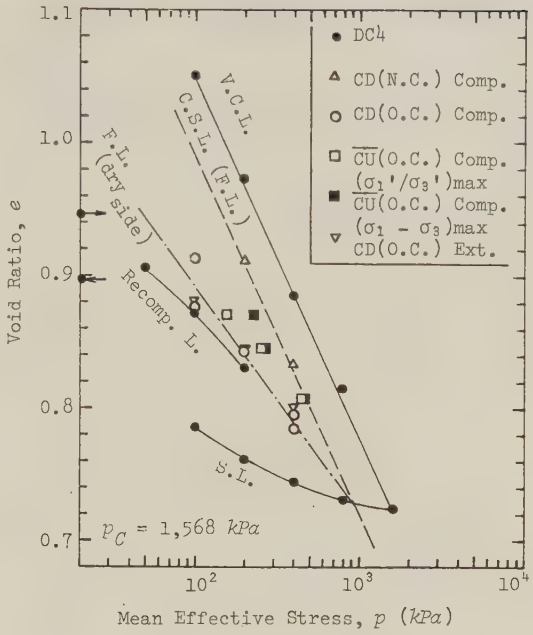


図 2　e～log p 関係（$p_C=1,568\,kPa$，ピーク時）
e～log p relationship at peak state（$p_C=1,568\,kPa$）

kPa の試料ではせん断により間隙比が減少し，圧縮しているが，他の試料では間隙比は増加し，試料は膨張している。

図 2 は，最大圧密圧力 p_C が 1,568 kPa の試料について，ピーク時の e～log p 関係を示している。また，図中には，圧密，膨潤，再圧縮時の e～log p 関係の代表例として，黒丸で DC 4 の e～log p 関係を示した。また，正規圧密試料のピーク時の点を結ぶ e～log p 関係を破線で示している。e～log p 図上での正規圧密試料の破壊点を結ぶ直線はほぼ処女圧縮線に平行になっている。図中の排水せん断を受けた過圧密試料のプロットをみると，これは，破線で示される正規圧密試料の破壊時の e～log p 関係よりかなり下に位置している。これらのプロットの平均として，破線と DC 4 の膨潤線との交点を通る e～log p 関係（一点鎖線）が仮定できる。同図中には同時に，非排水試験結果を示している。$(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ 基準による関係は一点鎖線で示される排水試験結果に近い関係を示しているが，$(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ 基準での破壊点は正規圧密試料の破壊線（破線）の近くにプロットされている。

図 3 は，p_C が 1,568 kPa の各試験の残留時として試験最終時の e～log p 関係を示している。なお図中の黒

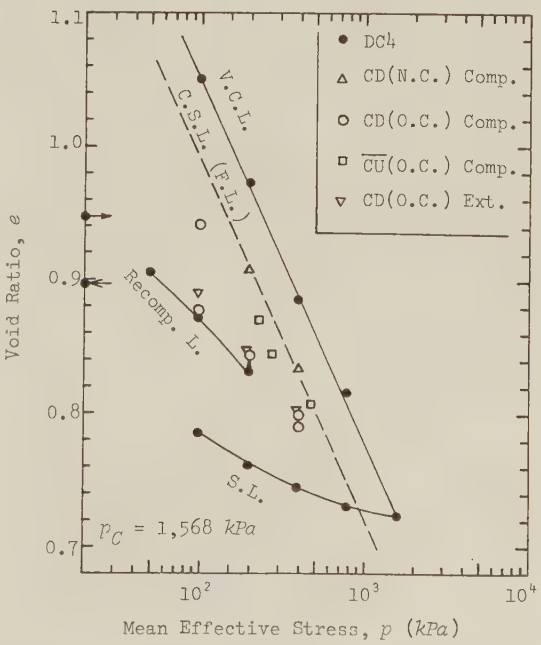


図 3　e～log p 関係（$p_C=1,568\,kPa$，残留時）
e～log p relationship at residual state（$p_C=1,568\,kPa$）

丸印と実線の関係及び破線は図2に示したものと同じである。図より，正規圧密試料ではピーク時と残留時でほとんど差異はない。また，排水せん断を受けた過圧密試料及び $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ 基準による非排水試験の破壊時と比較すると，残留時の $e\sim\log p$ 関係はそれ程大きな変化はない。したがって，残留時においても，排水せん断を受けた過圧密試料の各プロットは，破線で近似的に示される正規圧密試料の関係よりかなり下にプロットされている。

なお，破壊時の軸差応力 $q_f(=(\sigma_1-\sigma_3)_f)$ と平均主応力 p の関係は，解析結果とともに後の図6に示している。

4. 過圧密粘性土の強度表示式

一般に，正規圧密粘性土の破壊時の軸差応力 q_f は次のように表わされる。

$$q_f=M\cdot p_f \quad \cdots\cdots(1)$$

ここに，p_f は破壊時の平均有効応力，M は定数である。いま，過圧密粘性土の破壊強度 q_f は，次のように表わせるものとする。

$$q_f=M(p_f+\sigma_0) \quad \cdots\cdots(2)$$

ただし，M は定数であり，式(1)中のものと同じである。また，σ_0 は過圧密効果を表わす応力パラメーターであり，ここでは見かけの粒子間応力と呼ぶことにする。σ_0 は過圧密により生じる土中の粒子間配列，間隙比等の変化を反映したものであり，過圧密比の関数と考えることができる。

さて，式(2)中の見かけの粒子間応力 σ_0 を次のように求める。ここでは，三軸圧縮条件の場合について考える。図4(a)に示したように，$e\sim\log p$ 図上で処女圧縮線（V. C. L.），限界間隙比線（C. S. L.），等方膨潤線（S. L.）をそれぞれ式(3)～(5)のように表わす[2]。

$$e=e_a-\lambda\ln p \quad \cdots\cdots(3)$$

$$e=\Gamma-\lambda\ln p \quad \cdots\cdots(4)$$

$$e=e_C-\kappa\ln\frac{p}{p_C} \quad \cdots\cdots(5)$$

ここに，e_C，p_C は最大圧密圧力の点 C の間隙比及び平均有効応力である。また，λ，κ はそれぞれ $e\sim\ln p$ 図での処女圧縮線，等方膨潤線の勾配である。e_a，Γ は $p=1$ における処女圧縮線，限界間隙比線の間隙比である。ここで，正規圧密粘性土の破壊線は式(4)で示した限界間隙比線と同じとする。

いま，図に示したように，限界間隙比線と等方膨潤線の交点を A とすると，この点の間隙比 e_A 及び過圧密比 n_A は次のように表わされる。

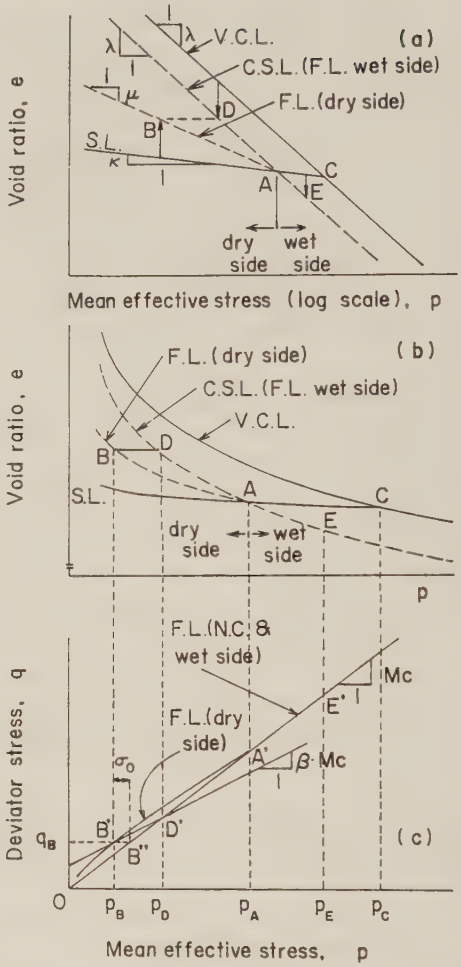


図4　過圧密土の強度特性 (a) $e\sim\log p$ 関係，(b) $e\sim p$ 関係，(c) $q\sim p$ 関係

Shear strength characteristics of overconsolidated cohesive soil (a) $e\sim\log p$ relationship, (b) $e\sim p$ relationship, (c) $q\sim p$ relationship

$$e_A=\frac{\lambda\cdot e_a-\kappa\cdot\Gamma}{\lambda-\kappa}-\lambda\ln p_C \quad \cdots\cdots(6)$$

$$n_A=\frac{p_C}{p_A}=\exp\left(\frac{\Delta e_f}{\lambda-\kappa}\right) \quad \cdots\cdots(7)$$

ここに，p_A は点 A での平均有効応力である。また，Δe_f は処女圧縮線と限界間隙比線の縦距であり，次のように表わされる。

$$\Delta e_f=e_a-\Gamma \quad \cdots\cdots(8)$$

ここで，過圧密粘性土の破壊時の $e\sim\log p$ 関係を次のように仮定する。すなわち，$p_C\geqq p_f\geqq p_A$ の領域（ここで湿潤側と呼ぶ）では，試料は限界間隙比線（勾配 λ）

上で破壊するものとし，$p_f < p_A$ の領域（ここでは乾燥側と呼ぶ）では，図1(a)に示したように，点Aを通り，勾配 $\mu(\leqq\lambda)$ の直線上で破壊するものとする。このとき，湿潤側の破壊線は式(4)で表わされる。また，乾燥側の破壊線は次のように表わされる。

$$e = e_A - \mu \ln \frac{p}{p_A} \quad \cdots\cdots(9)$$

つぎに，破壊時における $q \sim p$ 関係について考える。図4(c)に示したように，$p_C \geqq p_f \geqq p_A$ の領域で破壊する試料は正規圧密土と同じように，原点を通り，勾配 M_C の直線で表わされるものとする。他方，$p_f < p_A$ の領域で破壊する場合は，Hvorslev[8] の破壊基準が $q \sim p$ 図上で成立するものと仮定する。すなわち，$e \sim p$ 図上において同じ間隙比をもつ過圧密試料と正規圧密試料の破壊点 B, D（図4(b)参照）の応力状態を，$q \sim p$ 図上ではそれぞれ B', D'（図4(c)参照）で表わす。このとき，点 B' と点 D' を結ぶ直線は勾配 $\beta \cdot M_C$（β は定数と仮定）の直線で表わされるとする。このとき，点 B での破壊強度 q_B は次のように表わされる。

$$q_B = M_C \cdot p_D - \beta \cdot M_C \cdot (p_D - p_B)$$
$$= M_C \cdot p_A \left\{ (1-\beta) \left(\frac{p_A}{p_B} \right)^{-\mu/\lambda} + \beta \frac{p_B}{p_A} \right\} \quad \cdots\cdots(10)$$

ここに，$p_D = p_A (p_A/p_B)^{-\mu/\lambda}$ の関係を用いている。

ここで，次式が成立する。

$$p_A = p_B \cdot n_B \exp\left(-\frac{\Delta e_f}{\lambda - \kappa} \right) \quad \cdots\cdots(11)$$

ここに，n_B は点 B の過圧密化（$= p_C/p_B$）である。この関係を用いると，式(10)は次のように表わされる。

$$q_B = M_C \cdot p_B \left\{ (1-\beta) n_B^{\Omega} \exp\left(-\frac{\Delta e_f \cdot \Omega}{\lambda \cdot \Lambda} \right) + \beta \right\} \quad \cdots\cdots(12)$$

ここに，$\Omega = 1 - \mu/\lambda$, $\Lambda = 1 - \kappa/\lambda$ で，いずれも定数である。

いま，$q \sim p$ 図上において，q_B と同じ破壊強度も持つ正規圧密土の破壊線上の点を B'' とする。ここで，式(2)で示した見かけの粒子間応力 σ_0 は点 B'' の平均有効応力と点 B' の平均有効応力の差とする。このとき，式(2)は次のように書き直される。

$$q_B = M_C (p_B + \sigma_0) \quad \cdots\cdots(13)$$

式(12)，(13)を比較することにより，σ_0 は次のように表わされる。

$$\sigma_0 = p_f (1-\beta) \left\{ n^{\Omega} \exp\left(-\frac{\Delta e_f \Omega}{\lambda \cdot \Lambda} \right) - 1 \right\} \quad \cdots\cdots(14)$$

式(14)において，p_B, n_B をそれぞれ p_f, n と置き換えている。ここで，用いている過圧密比 n は最大圧密圧力 p_C と破壊時の平均有効主応力 p_f の比と定義している。

つぎに，点 B 及び点 D の等価圧密圧力を p_e とすると，これは次のように表わされる。

$$p_e = p_D \exp\left(\frac{\Delta e_f}{\lambda} \right) \quad \cdots\cdots(15)$$

上式を式(10)の第1式に代入して整理すると，次式を得る。

$$\frac{q_f}{M \cdot p_e} = (1-\beta) \exp\left(-\frac{\Delta e_f}{\lambda} \right) + \beta \frac{p_f}{p_e} \quad \cdots\cdots(16)$$

ただし，q_B, p_B, M_C をそれぞれ q_f, p_f, M と書き換えている。式(16)を用いると $q_f/(M \cdot p_e) \sim p_f/p_e$ プロットより係数 β を求めることができる。

ここで，式(14)で示した見かけの粒子間応力 σ_0 は三軸圧縮下の場合について求めたが，p_f, n は応力不変量であるので，一般応力条件下の場合も成立すると仮定すると，三軸伸張下の試験結果も，その条件下での M の値（M_E）を用いることにより解析できる。

このとき，一般に，正規圧密土及び $p_C \geqq p_f \geqq p_A$ の領域で破壊する過圧密土に対しては，式(1)が成立し，$p_f < p_A$ の領域で破壊する過圧密土に対しては式(14)で表わされる σ_0 を用いた式(2)が成立する。

以上，新しい係数 μ, β を導入して，見かけの粒子間応力 σ_0 を求め，過圧密土の強度の表示式を示した。

5. 試験結果の解析

5.1 著者の試験結果の解析

ここでは，3. で示した試験結果を 4. に示した考えのもとに解析した結果を示す。

図5(a), (b)は，それぞれ 3. で示した三軸圧縮及び伸張試験結果を式(16)に示した $q_f/(M \cdot p_e) \sim p_f/p_e$ の関係で示したものである。ただし，式(16)中の Δe_f, λ は試験結果より求めた表4の値を用いている。図5(a)には，排水試験結果を非排水試験結果の $(\sigma_1'/\sigma_3')_{max}$ 基準によるものと $(\sigma_1 - \sigma_3)_{max}$ 基準によるものを同時に示している。図より三軸圧縮，伸張試験結果ともに，各プロットはほぼ同じ勾配の直線関係として表わされる。これより，β の値として 0.84 を得る。

図6(a), (b)に，それぞれ三軸圧縮及び伸張下における $q_f/p_C \sim p_f/p_C$ 関係の試験結果と解析結果の比較を示す。解析には表4に示した各係数値を用いている。図中には，式(7)より計算される n_A の逆数 p_A/p_C の値を矢印で示している。図より，解析結果はほぼ試験結果を説明している。

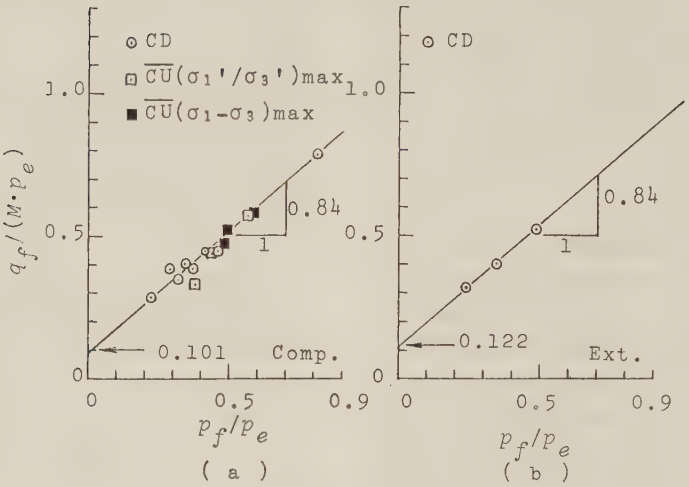


図 5 $q_f/(M\cdot p_e)\sim p_f/p_e$ 関係（藤森粘土）(a) 三軸圧縮，(b) 三軸伸張

$q_f/(M\cdot p_e)\sim p_f/p_e$ relationship (Fujinomori clay) (a) triaxial compression, (b) triaxial extension

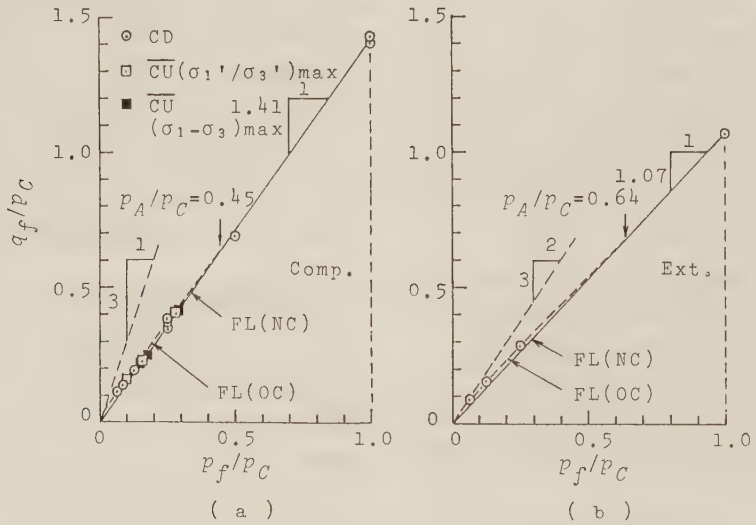


図 6 $q_f/p_C\sim p_f/p_C$ 関係の比較 (a) 三軸圧縮，(b) 三軸伸張

Comparison of $q_f/p_C\sim p_f/p_C$ relationship (a) triaxial compression, (b) triaxial extension

5.2 他の研究者による試験結果の解析

ここでは，他の研究者により行われた過圧密粘性土の試験結果について，4. に述べた方法を用いて行った解析結果について述べる。

図 7 は，Weald 粘土の三軸圧縮試験結果[4] を $q_f/(M\cdot p_e)\sim p_f/p_e$ 関係でプロットしたものである。また，図中には，彼らの試験結果より読み取った Δe_f，λ の値（表 4 参照）を用いて，これらのプロットに最もよく合う式 (16) による直線関係を示している。各プロットはほぼ図中の直線関係で表わされ，これより β の値として 0.75 を得る。なお，Weald 粘土の三軸伸張試験結果からも β の値として 0.75 を得ている。

図 8 は，図 7 と同じ試験結果を $q_f/p_C\sim p_f/p_C$ 関係でプロットしたものである。また，同時に表 4 の各係数値を用いた解析結果も示している。正規圧密土（実線）と

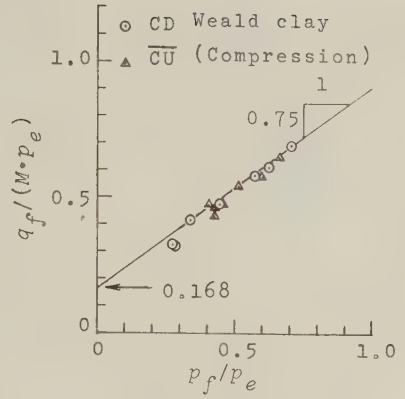


図 7　$q_f/(M\cdot p_e)\sim p_f/p_e$ 関係（Weald 粘土）
$q_f/(M\cdot p_e)\sim p_f/p_e$ relationship (Weald clay)

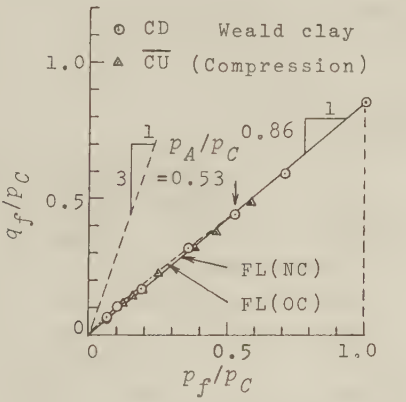


図 8　$q_f/p_C\sim p_f/p_C$ 関係の比較（Weald 粘土）
Comparison of $q_f/p_C\sim p_f/p_C$ relationship (Weald clay)

過圧密土（破線）の差異はかなり小さいが，解析結果はほぼ試験結果を説明している。

つぎに，Yudhbir ら[5] の結果を示す。図 9 (a), (b) は，それぞれ彼らによる Rann of Kutah 粘土に対する $q_f/(M\cdot p_e)\sim p_f/p_e$ 関係のプロットを示したものである。いずれもほぼ直線関係とみなせる。これらの図より，図中に示した直線の勾配としてそれぞれの粘土の β の値が求められる。

図 10 (a), (b) は，それぞれ Rann of Kutch 粘土及び Kanpur 粘土の $q_f/p_C\sim p_f/p_C$ 関係の試験結果と解析結果の比較である。データは多少ばらついているが，解析結果はほぼ試験結果を説明している。

6. 考　　察

6.1 各実験パラメーターと塑性指数の関係

ここでは，破壊強度の解析に用いられる各パラメーターと塑性指数の関係について，いままで多くの研究者により得られている結果をまとめる。以下に示すデータは表 4 にまとめて示している。

図 11 (a), (b) は，それぞれ圧縮指数 λ 及び膨潤指数 κ と塑性指数 PI の関係を示している。λ, κ とも実験の行われた応力レベルの間の $e\sim\log p$ 関係の平均的な勾配として求めている。圧縮指数 C_C と液性限界 w_L の間にほぼ直線的な関係があることは，Skempton 以来，日本でも認められている[17,18,19]。図 11 (a) から分るように，λ は PI に対してもほぼ比例関係にある。また，同図中には港湾関係[21]の資料の平均を一点鎖線で示しているが，これよりは，小さ目の値を与えている。同図 (b) において，データはかなりばらついているが，κ は PI

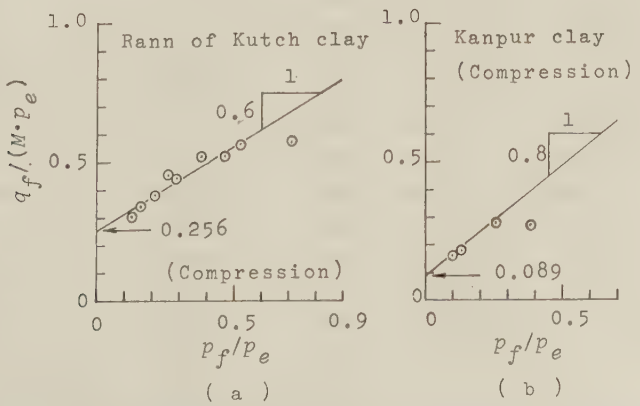


図 9　$q_f/(M\cdot p_e)\sim p_f/p_e$ 関係　(a) Rann of Kutch 粘土, (b) Kanpur 粘土
$q_f/(M\cdot p_e)\sim p_f/p_e$ relationship (a) Rann of Kutch clay, (b) Kanpur clay

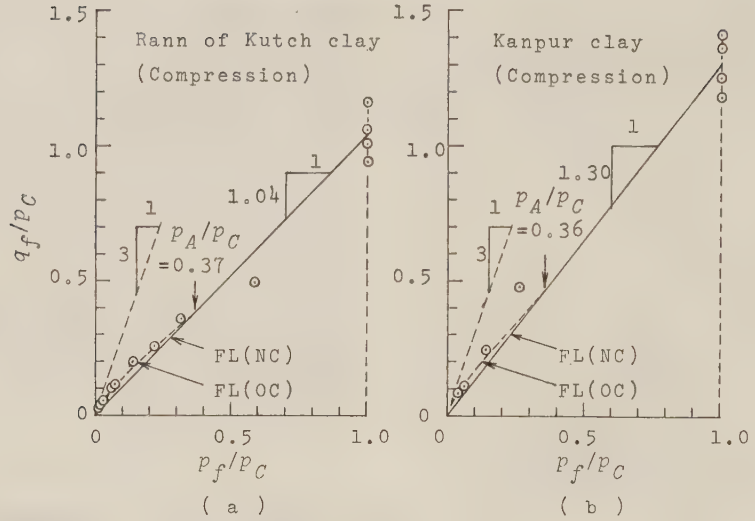


図 10 $q_f/p_C \sim p_f/p_C$ 関係の比較 (a) Rann of Kutch 粘土, (b) Kanpur 粘土
Comparison of $q_f/p_C \sim p_f/p_C$ relationship (a) Rann of Kutch clay, (b) Kanpur clay

表 4 係 数 値
Table 4 Values of coefficients

Sample	No. in diagram	PI	λ	κ	κ_r	Δe_f	β	μ	M	Test condition	Refs.
Weald clay	1	25.0	0.093	0.035	—	0.037	0.75	0.059	0.86	Comp.	6)
〃	2	25.0	0.093	0.035	—	0.0274	0.75	0.054	0.66	Ext.	4, 6)
London clay	3	52.0	0.161	0.062	—	0.0498	0.70	0.089	0.71	Comp.	4, 6)
Drammen clay	4	19.1	0.115	0.024	—	0.072	—	—	1.02	Comp.	7)
〃	4	17.1	0.115	0.024	—	0.073	—	—	1.13	Comp.	7)
〃	4	18.2	0.115	0.024	—	0.071	—	—	1.28	Comp.	7)
Backswamp (Batch 2, 3)	5	40.0	0.253	0.071	—	0.096	0.60	0.119	0.89	Comp.	8)
Remoulded clay	6	39.0	0.252	0.040	—	0.180	—	—	1.39	Comp.	9)
Leached clay (1.5 N)	7	37.0	0.254	0.074	—	0.124	—	—	0.95	Comp.	10)
〃 (0.3 N)	7	38.0	0.239	0.083	—	0.109	—	—	0.87	Comp.	10)
〃 (0.1 N)	7	36.0	0.230	0.089	—	0.123	—	—	1.06	Comp.	10)
〃 (Dispersed)	7	38.0	0.326	0.115	—	0.145	—	—	0.84	Comp.	10)
Kanpur clay	8	18.0	0.123	0.026	—	0.100	0.80	0.042	1.30	Comp.	5)
Rann of Kutch clay	8	49.0	0.265	0.148	—	0.118	0.60	0.156	1.04	Comp.	5)
Keuper Marl	9	14.0	0.118	0.025	—	0.067	0.80	0.066	1.02	Comp.	11)
Silty clay	10	21.0	0.130	0.025	—	0.045	—	—	1.51	Comp.	12)
〃	10	21.0	0.084	0.013	—	0.045	—	—	1.42	Comp.	12)
〃	10	32.0	0.179	0.025	—	0.054	—	—	1.47	Comp.	12)
Fujinomori clay	11	17.5	0.106	0.019	—	0.043	—	—	1.65	Comp.	13)
Lacustrine clay	12	22.6	0.261	0.071	—	0.114	—	—	0.54	Comp.	14)
Kaolin	13	9.0	0.092	0.031	—	0.017	—	—	0.96	Comp.	15)
Silty clay	13	22.0	0.058	0.019	—	0.0035	—	—	1.53	Comp.	15)
Fujinomori clay	14	26.2	0.115	0.021	—	0.0686	—	0.064	1.40	Comp.	16)
〃	15	17.5	0.120	0.023	0.052	0.0547	0.84	0.074	1.41	Comp.	Present
〃	15	17.5	0.120	0.023	0.052	0.0328	0.84	0.074	1.07	Ext.	Present

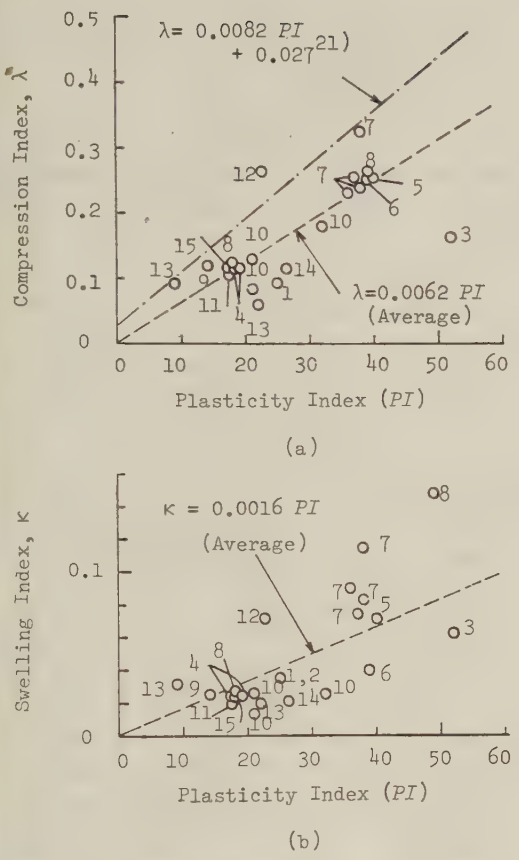


図 11　(a) λ と PI の関係，(b) κ と PI の関係
Relationships between (a) λ and PI, (b) κ and PI

とともに増加する傾向がある。

図 12 は，式 (8) で定義した Δe_f と $(\lambda-\kappa)$ の関係をプロットしている。Δe_f は等方圧密時と破壊時の $e\sim\log p$ 関係が示されているときは，これより直接に求めている。また，この他の場合で非排水試験の場合は $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ 時の過剰間げき水圧と圧縮指数の値から，排水試験の場合はせん断開始時からピーク時までの間隙比の変化より求めた。図より，Δe_f は $(\lambda-\kappa)$ とともに増加する傾向がある。同図中には，Roscoe ら[2,20] による関係も同時に示している。各プロットの平均の勾配は Roscoe ら[20] のものよりやや小さい勾配を示している。

図 13 (a), (b) は，それぞれ β 及び μ/λ と PI の関係を示している。β, μ はいずれも試験結果より得られたデータをプロットして求めている。ただし，μ は非排水試験では $(\sigma_1-\sigma_3)_{max}$ の点の値より求めている。図より，β は PI とともに減少し，0.8～0.6 の値を示している。すなわち，$q\sim p$ 図上での Hvorslev[3] の破壊線の

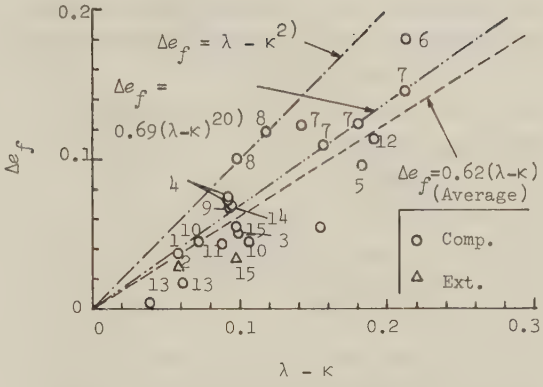


図 12　Δe_f と $(\lambda-\kappa)$ の関係
Relationship between Δe_f and $(\lambda-\kappa)$

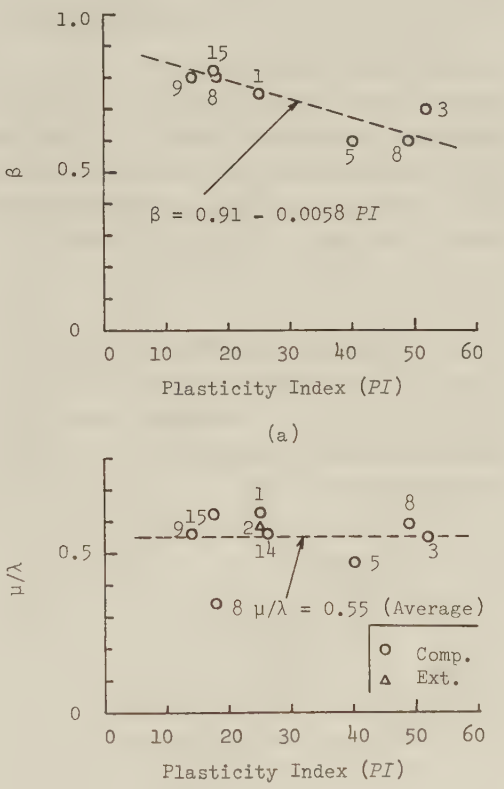


図 13　(a) β と PI の関係，(b) μ/λ と PI の関係
Relationships between (a) β and PI,
(b) μ/λ and PI

勾配は正規圧密土の破壊包絡線の勾配の 0.6～0.8 倍であり，PI の増加とともに減少の傾向がある。図 13 (b) より，μ/λ は PI に関係なく，1 よりもかなり小さい一定

値を示している。これより，乾燥側における $e\sim\log p$ 図上での破壊線の勾配は，正規圧密土の破壊線の勾配よりかなり小さい（0.5～0.6倍）。

以上，みてきた各実験パラメーターと塑性指数 PI の関係を次のように式示する。

$$\left.\begin{aligned}\lambda&=c_1\cdot PI\\ \kappa&=c_2\cdot PI\\ \Delta e_f&=c_3(\lambda-\kappa)\\ \beta&=c_4-c_5\cdot PI\\ \mu/\lambda&=c_6\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(17)$$

ここに，$c_1\sim c_6$ は PI によらない定数である。図11～13の各プロットの平均値を用いると，$c_1=0.0062$，$c_2=0.0016$，$c_3=0.62$，$c_4=0.91$，$c_5=0.0058$，$c_6=0.55$ である。

6.2　過圧密粘性土の c_u/p と塑性指数との関係

正規圧密粘性土の強度増加率 c_u/p は，粘性土の非排水強度 c_u を圧密圧力 p で割ったものである。正規圧密粘性土の強度増加率を求める方法として，1）塑性指数 PI より求める方法[22]，2）一軸圧縮強さ q_u の地盤深さに対する増加率より求める方法，3）三軸圧密非排水試験結果より求める方法などいくつかの方法が提案されている。ここでは，過圧密粘性土の c_u/p について検討する。

図14は，$e\sim\log p$ 図上で非排水経路を示している。図において，非排水せん断経路は湿潤側では $F\rightarrow E$，乾燥側では $D\rightarrow B$ のように表わされる。このときのせん断開始時の圧密圧力と破壊時の平均有効応力の関係は次のように表わされる。

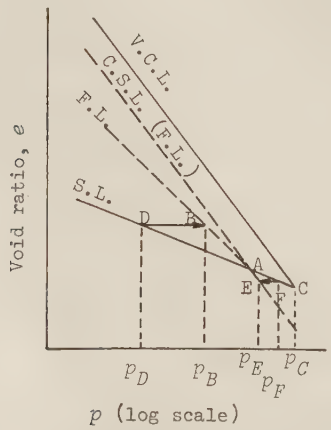


図14　非排水せん断時の $e\sim\log p$ 関係
$e\sim\log p$ relationship during undrained shear

$$p_E=p_F(n_F)^{\Lambda}\exp\left(-\frac{\Delta e_f}{\lambda}\right)\quad\cdots\cdots(18)$$

$$p_B=p_D(n_D)^{\Psi}\exp\left(-\frac{\Psi\cdot\Delta e_f}{\Lambda\cdot\lambda}\right)\quad\cdots\cdots(19)$$

ここに，$n_F=p_C/p_F$，$n_D=p_C/p_D$，$\Psi=1-\kappa/\mu$ である。式(18)，(19)をそれぞれ式(1)，(12)に代入して，湿潤側及び乾燥側での c_u/p はそれぞれ式(20)，(21)のように表わされる。

$$\frac{c_u}{p}=\frac{q_E}{2p_F}=\frac{M_C}{2}n_F^{\Lambda}\exp\left(-\frac{\Delta e_f}{\lambda}\right)\quad\cdots\cdots(20)$$

$$\frac{c_u}{p}=\frac{q_B}{2p_D}=\frac{M_C}{2}\left\{(1-\beta)n_D^{\Lambda}\exp\left(-\frac{\Delta e_f}{\lambda}\right)+\beta\cdot n_D^{\Psi}\exp\left(-\frac{\Psi\cdot\Delta e_f}{\Lambda\cdot\lambda}\right)\right\}\quad\cdots\cdots(21)$$

式(20)，(21)において，点 F 及び D が点 A に一致（$n_F=n_A$ または $n_D=n_A$）したとき，$c_u/p=M_C/2$ となる。

式(20)において，$n_F=1$（正規圧密粘性土）のとき，

$$\left(\frac{c_u/p}{M_C/2}\right)=\exp\left(-\frac{\Delta e_f}{\lambda}\right)\quad\cdots\cdots(22)$$

図15　(a) $\exp(-\Delta e_f/\lambda)$ と PI の関係，
(b) n_A と PI の関係
Relationships between (a) $\exp(-\Delta e_f/\lambda)$ and PI, (b) n_A and PI

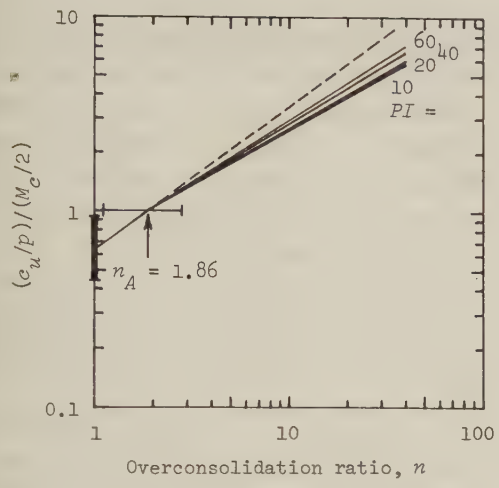


図 16　$(c_u/p)/(M_C/2)$ と過圧密比の関係
Relationship between $(c_u/p)/(M_C/2)$ and overconsolidation ratio

$(c_u/p)_{NC}/(M_C/2)$ は正規圧密土の強度増加率と $M_C/2$ の比であり，式(17)によれば，これは PI に無関係な一定値とみることができる。図 15(a)に $\exp(-\Delta e_f/\lambda)$ と PI の関係を示している。プロットはかなりばらついているが，0.5～0.8（平均 0.65）の値を示している。

つぎに等方膨潤線と限界間隙比線の交点 A（図 4）の過圧密比 n_A は式(7)で表わされる。この値は式(17)に示したにように PI によらずほぼ一定である。Δe_f と $(\lambda-\kappa)$ の関係は既に図 12 に示したが，式(7)の右辺より計算される n_A と PI の関係を直接示すと図 15(b)のようになり，n_A の値は 1.5～2.5（平均 1.9）をとることが分る。

式(20)，(21)に式(17)の関係を代入すると，$(c_u/p)/(M_C/2)$ は $n \leqq n_A$ では過圧密比に対して一意的な関係を得る。他方 $n > n_A$ に対しては PI と過圧密比の関係として与えられる。図 16 は，式(20)，(21)に式(17)の関係を代入し，$c_1 \sim c_6$ の値として **6.1** で得た値を用いたときの関係を示している。図中には，正規圧密（O.C.R=1）の場合の $(c_u/p)/(M_C/2)$ の範囲（図 15(a)参照）及び n_A の値の範囲（図 15(b)参照）も同時に示している。図より，次のことが分る。i) $(c_u/p)/(M_C/2)$ は過圧密比とともに増加するが，この関係は両対数紙上で湿潤側及び乾燥側でほぼ直線関係にある。ii) 直線の勾配は湿潤側より乾燥側の方が小さく，乾燥側の勾配は PI が小さい程，小さくなる傾向がある。iii) $(c_u/p)_{NP}/(M_C/2)$ の範囲及び n_A の範囲から考えて，$(c_u/p)/(M_C/2) \sim n$ 関係の PI による違いは定性的なものであり，これよりもむしろデータのばらつきがかなり大きいと思われる。

7. 結　論

再圧密粘性土を用いて作成した過圧密試料についての三軸等方圧密排水せん断試験及び非排水せん断試験結果を示し，破壊特性を調べた。試験結果を解析することにより，過圧密粘性土の強度を示す表示式を与えるとともに，各パラメーターと塑性指数の関係について，他の研究者の結果も合わせて検討を行った。これより，次の結論を得た。

(1)　正規圧密粘性土の破壊時の $e \sim \log p$ 関係は処女圧縮線の勾配と同じ直線関係として表わされるが，乾燥側での過圧密粘性土の間隙比はこの直線まで達せず，かなり小さい間隙比で破壊する。特に，この傾向は排水試験に強い。残留時の $e \sim \log p$ 関係についても同様の関係がみられる。

(2)　破壊時の $e \sim \log p$ 関係は湿潤側では正規圧密土のそれと同じとし，乾燥側においてはこれより小さい勾配をもつ直線として表わす。また，破壊時の $q \sim p$ 関係は，湿潤側では正規圧密土と同じ勾配 M の直線で表わされ，乾燥側では Hvorslev の仮定[3]が成立するとする。この仮定に基づくとき，過圧密土の強度を式(2)のように表わすと，式中の見かけの粒子間応力 σ_0 は，湿潤側ではゼロ，乾燥側では式(14)のように過圧密比の関数として表わされる。また，非排水強さ c_u と等方圧密圧力 p の比 c_u/p は湿潤側，乾燥側に対して，それぞれ式(20)，(21)のように表わされる。

(3)　圧縮指数 λ，膨潤指数 κ には塑性指数 PI とともに増加する傾向がある。一方，$\Delta e_f/(\lambda-\kappa)$，$\mu/\lambda$，$\Delta e_f/\lambda$ は PI に対してほぼ一定とみられる。また，新しく導入したパラメーター β は PI の増加とともにわずか減少する傾向がみられる。これらの関係を用いると，$(c_u/p)/(M_C/2)$ と過圧密比の関係は PI をパラメーターとして図 16 のように表わされる。プロットのばらつきを考慮すると，$(c_u/p)/(M_C/2)$ と過圧密比の関係は両対数紙上で直線とみなすことができるが，この直線の勾配は PI の減少とともにやや減少する傾向がみられる。

参考文献

1)　大槇正紀：Strength and Deformation Characteristics of an O. C. Clay, Proc. 6th Asian Reg. Conf. on Soil Mechanics and Foundation Engineering, Vol. 1, pp. 63～66, 1979

2)　Roscoe, K. H., A. N. Schofield and A. Thu-

rairajah : Yielding of Clays in State Wetter than Critical, Geotechnique, Vol. 13, pp. 211～240, 1963

3) Hvorslev, M. J. : Physical Components of the Shear Strength of Saturated Clays, Proc. Res. Conf. Shear Strength of Cohesive Soils, ASCE, pp. 169～273, 1960

4) Henkel, D. J. : The Shear Strength of Saturated Remoulded Clays, Proc. Res. Conf. Shear Strength of Cohesive Soils, ASCE, pp. 533～554, 1960

5) Yudhbir and A. Varadarajan : Undrained Behaviour of Overconsolidated Saturated Clays during Shear, Soils and Foundations, Vol. 14, No. 4, pp. 1～12, 1974

6) Henkel, D. J. : The Relationships between the Strength, Pore-pressure, and Volume-Change Characteristics of Saturated Clays, Geotechnique, Vol. 9, No. 3, pp. 113～135, 1959

7) Simons, N. E. : Comprehensive Investigations of the Shear Strength of an Undisturbed Drammen Clays, Proc. Res. Conf. Shear Strength of Cohesive Soils, ASCE, pp. 727～745, 1960

8) Whitman, R. V. : Some Considerations and Regarding the Shear Strength of Clays, Proc. Res. Conf. Shear Strength of Cohesive Soils, ASCE, pp. 581～614, 1960

9) 柴田 徹・軽部大蔵：複合応力状態における土の挙動について．京都大学防災研究所年報，第7号，pp. 1～9, 1964

10) Nelson, J. D. and K. L. Siu : The Influence of Structure on the Dilatation of Clays, Proc. 1st Aust. New Z. Conf. on Geomechanics, Vol. 1, pp. 197～203, 1971

11) Brown, S. F., A. K. F. Lashine and A. F. L. Hyde : Repeated Load Triaxial Testing of a Silty Clay, Geotechnique, Vol. 25, No. 1, pp. 95～114, 1975

12) 三田地利之・北郷 繁：Change in Undrained Shear Strength Characteristics of Saturated Remoulded Clay due to Swelling, Soils and Foundations, Vol. 16, No. 1, pp. 45～58, 1976

13) 大槇正紀：A Mechanical Model for the Stress-strain Behaviour of Normally Consolidated Cohesive Soil, Soils and Foundations, Vol. 19, No. 3, pp. 29～44, 1979

14) Barcos, A., J. Graham and L. Domashuk : Yielding and Rupture in a Lacustrine Clay, Can. Geotech. Jour., Vol. 17, pp. 559～573, 1980

15) Murthy, M. K., A. Sridharan and T. S. Nagaraj : Shear Strengh Behaviour of Overconsolidated Clays, Soils and Foundations, Vol. 21, No. 2, pp. 72～83, 1981

16) 清水正喜：Effect of Overconsolidation on Dilatancy of a Cohesive Soil, Soils and Foundations, Vol. 22, No. 4, pp. 121～135, 1982

17) 大崎順彦：Geotechnical Propeties of Kanto-Loam and Its Anisotropy, 建築研究所報告，pp. 1～14, 1957

18) 村山朔郎・赤井浩一・植下 協：大阪洪積粘土・工学的特性，土と基礎，第16巻，第11号，pp. 38～48, 1968

19) 谷口秀雄：留萌港基層粘土の工学的性質について，土と基礎，第10巻，第1号，pp. 19～27, 1962

20) Roscoe, K. H. and J. B. Burland : On the Generalized Stress-Strain Behaviour of 'Wet' Clay, Engineering Plasticity (ed. J. Heyman and F. A. Leckie), Cambridge Univ., pp. 535～609, 1968

21) 小川富美子・松本一明：港湾地域における土の工学的諸係数の相関性，港湾技術研究所報告，第17巻，第3号，pp. 3～89, 1978

22) Skempton, A. W. : Discussion on "The Planning and Design of the New Hong Kong Airport, Proc. Inst. Civil Engrs., Vol. 17, pp. 305～307, 1957

Shear Strength Characteristics of Overconsolidated Cohesive Soil

By

Seiki OHMAKI

Summary

In order to clarify the shear strength characteristics of overconsolidated cohesive soil, triaxial tests were carried out on such specimens that had various overconsolidation ratios. Based on these experimental results, empirical expression is proposed which can reasonably explain the failure strength behaviour of such soils.

Experiments were performed on remoulded and reconsolidated specimens. Two kinds of tests were performed. The first one was carried out in order to make the overconsolidated specimens, in which the specimens were isotropically consolidated at prescribed preconsolidation pressure and then swelled to the atmospheric pressure. The second were the consolidated, drained or undrained shear tests. That is, specimens were sheared under drained or undrained condition at triaxial compression or extension stress state after they were reset in another triaxial cell and reconsolidated at such isotropic pressure that the specimens had the prescribed overconsolidation ratio. From these experimental results, it was clarified that the void ratio of overconsolidated specimen at peak strength was smaller than the one of normally consolidated specimen at the same p. The larger the overconsolidation ratio is, the more conspicuous this property becomes. In the relationship between the deviator stress, q, and the mean effective stress, p, the value of q at overconsolidated state is larger than the one at normally consolidated state at the same value of p.

Base on these experimental results, empirical law on the shear strength property of overconsolidated soil is given. In this expression, it is assumed that $e\sim\log p$ relationship is expressed by the critical state line of normally consolidated specimen at the wet side. On the other hand, at the dry side, it is assumed that the $e\sim\log p$ relationship is expressed by another line which passes the intersection point of the swelling line and the critical state line and has the smaller inclination, μ, than the one, λ, of the critical state line. It is also assumed that $q\sim p$ relationship of overconsolidated specimen is identical to the critical state line (failure line) of normally consolidated soil at the wet side. On the other hand, it is assumed that, at the dry side, $e\sim p\sim q$ relationship satisfies the Hvorslev's (1960) failure criterion. That is, the failure strength of normally and overconsolidated specimens with the identical void ratio are plotted on the unique line with slope, $\beta\cdot M$, in $q\sim p$ diagram, where M is the slope of failure line of normally consolidated specimen and $\beta(\leqq 1)$ is the experimental constant. Using the expression on the failure strength of overconsolidated soil described here, the experimental results by the author and other researchers were analysed, and it was concluded that the present expression could reasonably explain these experimental results.

Finally, the values of the coefficients, β and μ, introduced in this paper, and the compression index, λ, the swelling index, κ, and the void ratio change, Δe_f, of normally consolidated specimen due to shear are shown which were obtained from many experimental results on various soils. The relationships between these coefficients and the plasticity index, PI, are also shown.

水工研報告 5
1984 p.p. 81~95

沿岸漁船の最適操業計画検討用シミュレーションプログラムについて

土 屋 孟*

目 次

1 まえがき……81
2. 基本構想……81
3 インプット表……82
4. アウトプット表……89
5. プログラムの部分的説明……89
5.1 操業計画の算出 ……89
5.2 船の重量重心計算 ……89
5.3 航海速度の推定 ……90
5.4 船の復原力の検討 ……91
5.5 漁業採算性計算 ……91
6. 本プログラムの利用法……92
7. 考 察……92
8. あとがき……93

1. まえがき

石油の高騰，魚価の低迷，漁業資源の減少等のため，わが国の沿岸漁船漁業の経営状態は年々悪化しつつあり，省エネルギー対策を含めて，その打開策が深刻に求められている現状にある．

その対策を幅広く総合的に検討する一助として，昭和56年度から水産庁において，一本釣，延縄，刺網等の漁業を行う比較的軽装備の沿岸漁船を対象にプロジェクト研究が計画され，水産工学研究所が中心となって実施に移された。

そのうち，現存沿岸漁船のための対策としては，漁業を取り巻く諸環境条件の変化に対応して，操業計画をどのように変えれば，漁業採算性がどの程度に改善される可能性があるかを定量的に検討できる手段を開発すれば，それを手がかりにして新時代にふさわしい操業計画を見出すことができ，またその解析結果を利用すれば，必要な技術開発研究をより効率的に実施することができるものと考えられた。

本シミュレーションプログラムは，以上のような目的意識をもって研究開発されたものである。

沿岸漁船漁業の採算性を，工学技術の側面から解析的に検討しようとするこの種の電算用プログラムを開発するのは始めての試みであるので，本プログラムの開発に当っては，まずそのプログラムの基本構想を固め，その骨格を明確に作ることを第1優先とした。その際，個々の推定計算の内容に，ある程度精粗のアンバランスが生ずることがあっても，あまりそれにとらわれずにプログラムを作成し，改善の必要が生じた際に順次その部分の補足充実を考えればよいとの方針で開発が進められた。

* 所長，元漁船工学部

2. 基本構想

本プログラムの基本構想は次のようなものとした。すなわち，現存の任意の沿岸漁船に対し，まず様々の環境条件や操業計画の諸要素を実情に沿って任意に設定し，かつそれらの要素の一部をさらに系統的に変化させた一連の操業計画を設定する。次にそれらの設定条件下で，その漁船の性能の範囲内で無理なく安全に使うことを前提とした，合理的操業計画の詳細を電算機により算出し，その後，夫々の操業計画時の収支を算出して相互比較を行い得る資料を作る．それらにより，設定された環境条件下で，同漁船の経営上最も有利な操業計画を容易に見出すことが可能となる筈である。

図1に，本プログラムの計算の主要な流れを示す。

基本構想作成時に考慮した要件を以下に列挙する。

① 沿岸漁船の多くは，年間を通じて数種の漁業に従事するので，その実情を満足させるものとする。

② その中の最も収入が多いと見られる漁業を主業と位置づけ（流れ図ではA漁業と表示），副業としてその他の2漁業（流れ図ではB，およびC漁業と表示）までを対象として解析可能のものとする。

③ 全国の沿岸漁船にできるだけ幅広く活用しうるよ

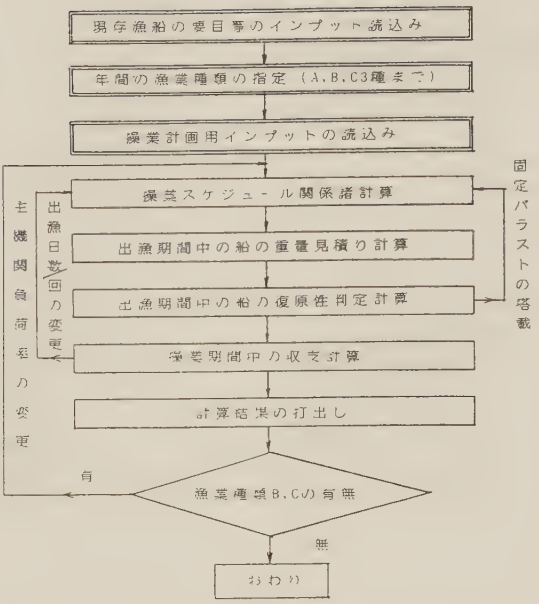


図 1 計算の主要流れ図
Main Flow Chart of the Calculation

う，環境条件および操業計画が実情に沿って，具体的，定量的に設定できるものとする。

④ 沿岸漁船が操業計画を建てるに当って，往復航海速度と単位出漁日数の2要素は漁業採算上影響が大きく，かつ得失が複雑にからんでいて，簡単には定量的な影響を把み難い要素と予想されたので，解析に便利なように，それらの2要素については1回の計算時に夫々3通りの設定ができるよう配慮する。

ただし，技術的理由により，航海速度自体を設定することが困難であるため，それに代る主機関の負荷率を設定することで，実質的に目的を満たすこととする。

⑤ 操業計画の細部計算時に，予めインプットする船の安全限界排水量を超えて積み過ぎが発生する場合には，それ以後の計算を打ち切り，操業計画に安全上の歯止めがかかるようにする。

⑥ 同じく，船の復原力が安全基準を下廻る場合には，⑤の歯止めの条件の限度内で，安全基準を満足するようになるまで船底に固定バラストを積むことができるものとする。

⑦ 漁業採算の上で最も重要な要素の一つである漁獲量を見積る方法については，漁業の実態にもとずいて，漁期を通じての活魚と冷蔵魚の夫々の操業1回当りの平均漁獲量を推定してインプットする。魚価については，夫々の平均魚価をインプットするほか，1回出漁当りの操業日数の長短を考慮して，1日当りの魚価低減率も指定できることとする。

また，活魚，冷蔵の各魚そうの漁獲物積載許容量を指定し，それにより操業計画の歯止めをかける。

⑧ 漁業採算性の良否の判定指針として，各漁業種類毎の利益額と利益率を用いることとする。

⑨ 本プログラムの性格上，独立変数の設定値が多く，従ってその実用時には，多角的検討を要する場合が多いと予想されるので，アウトプットは設定条件毎にやや詳細に打出し，解析や再計算に便利なものとする。

3. インプット表

表1にインプット表の様式を示す。この様式によって7桁の実数または整数を各カードに打込めば，インプットカードが整う。

カードナンバー1～7までは，計算対象の現存漁船の諸要目等のインプット，カードナンバー9～15までは，操業計画に関するインプットとなり，後者は漁業種類の数だけ用意する。(最大3組)

表1の各ワク内に記載のインプットナンバー(IP No)の数値が〔 〕に入っているものは整数，( )に入っているものは実数でインプットする必要があるので注意を要する。

それらのインプットの内容は，表1中の説明と単位で概ね理解できると思われるが，特に説明を要するものを表2の計算計画表（後述）の中に示す。表2には念のため数値を例示している。

これらのインプット数は比較的多いが，それは現実の沿岸漁船の操業の複雑さを示すものである。それらの諸条件が漁業採算性にどの程度に影響するかを知るには，それらの個々の設定値を系統的に変化させることによって求められることになる。

従って，本プログラムによる計算を計画する場合には，表2のような様式の計算計画表を作り，同表により一連の設定計画を想定した上で順次系統的に計算を進めれば，あとの整理をするのが容易であり，混乱が起き難い。

(89頁に続く)

表1　インプット表

In Put Table

カードナンバー	船名または No.	漁業種類数 N_{FISH}	漁業名 (A)	漁業名 (B)	漁業名 (C)			
1	〔1〕	〔2〕	(3)	(4)	(5)			
2	総トン数 GT (トン) (6)	水線長 L (m) (7)	幅 B (m) (8)	ブルワーク間隔 B_{BUL} (m) (9)	チャイン幅 B_C (m) (10)	深さ D (m) (11)	ブルワーク高さ H_{BUL} (m) (12)	試運転時速度 V_{TO} (ノット) (13)	〃 排水量 Δ_{TO} (t) (14)	主機負荷率 δ_{MT} (15)
3	主機馬力 SHP_{MO} (馬力) (16)	補機馬力 SHP_{AO} (馬力) (17)	燃油タンク容積 FOT Cap (m^3) (18)	清水タンク容積 FWT Cap (m^3) (19)	鋼船 Steel 〔20〕	FRP船 FRP 〔21〕	木船 Wood 〔22〕	附加物排水量 Δ_{APP} (t) (23)	箱型キールの断面積比 a/A (24)	
4	(計画満載)排水量 Δ_{FO} (t) (25)	中央きっ水 T_{FO} (m) (26)	浮心前後 lcb_{FO} (%) (27)	EHP/SHP PC_{FO} (28)	浮心高さ KB_{FO} (m) (29)	メタセンター高さ BM_{FO} (m) (30)	環動半径 K/B_{FO} (31)	水線面積係数 C_{WFO} (32)	中央断面係数 C_{MFO} (33)	
5	(軽荷)同上 Δ_{LO} (t) (34)	〃 T_{LO} (m) (35)	〃 lcb_{LO} (%) (36)	〃 PC_{LO} (37)	〃 KB_{LO} (m) (38)	〃 BM_{LO} (m) (39)	〃 K/B_{LO} (40)	〃 C_{WLO} (41)	〃 C_{MLO} (42)	
6	風圧側面積比 A_O/LD (43)	A_O のレバー比 h_O/D (44)	漁具重量 W_{FG} (t) (45)	特装重量 W_{SP} (t) (46)	清水消費量 W_{FW} (kg/人/日) (47)	食料消費料 W_{FOOD} (kg/人/日) (48)				
7	船価 (万円) (49)	現在の船令 (年) (50)	耐用年数 (年) (51)	残存価格 (万円) (52)	自己資本率 (%) (53)	借入金利率 (%) (54)	氷価格 (万円/t) (55)	燃油価格 (万円/kl) (56)		
9	漁期開始日 N_{STA} 〔68〕	漁期終了日 N_{FIN} 〔69〕	準備期間 T_{PRE} (日) (70)	ドック日数 T_{DOCK} (日) (71)	漁場距離 D_A (浬) (72)	泊地距離 D_B (浬) (73)	探魚時間率 α_T (%) (74)	仕込・水揚時間 T_{LAND} (時) (75)	休養時間／日 T_{REST} (時) (76)	操業時間／回 T_{FCY} (時) (77)
10	出漁日数／回 (1) T_{VCY1} (日) (78)	〃 (2) T_{VCY2} (日) (79)	〃 (3) T_{VCY3} (日) (80)	泊地休養回数 (1) n_{R1} (回/回) 〔81〕	〃 (2) n_{R2} (〃) 〔82〕	〃 (3) n_{R3} (〃) (83)	漁獲量／回 (いけす用) W_{CATL} (kg/回) (84)	〃 (保蔵そう用) W_{CATC} (kg/回) (85)	出港時氷重量／日 W_{ICE} (kg/日) (86)	〃 函重量／日 W_{CASE} (kg/日) (87)	〃 えさ重量／日 W_{BAIT} (kg/日) (88)
11	いけす容積 (m^3) (89)	〃 海水重量／容積 (t/m^3) (90)	〃 漁獲物／海水 (t/t) (91)	保蔵そう容積 (m^3) (92)	〃 魚そう内重量／容積 (t/m^3) (93)	漁獲物／魚そう内重量 (t/t) (94)					
12	主機負荷率(往)(その1) δ_{M1-1} (95)	〃 (復) (〃) δ_{M1-2} (96)	〃 (漁) (〃) δ_{M1-3} (97)	〃 (往) (その2) δ_{M2-1} (98)	〃 (復) (〃) δ_{M2-2} (99)	〃 (漁) (〃) δ_{M2-3} (100)	〃 (往) (その3) δ_{M3-1} (101)	〃 (復) (〃) δ_{M3-2} (102)	〃 (漁) (〃) δ_{M3-3} (103)		
13	補機負荷率(往) δ_{A1} (104)	〃 (復) δ_{A2} (105)	〃 (漁) δ_{A3} (106)								
14	重心高さ(往)(バラストなし) KG/D_1 (107)	〃 (復) (〃) KG/D_2 (108)	限界風速 U (m/s) (109)	GM 基準値 GM_R (m) (110)	ロール減滅係数 N_{20} (111)	荒天休漁日率 c_K (%) (112)	荒天漂泊率 α_D (%) (113)				
15	魚価(いけす) (万円/kg) (114)	〃 (保蔵そう) (万円/kg) (115)	人件費／人／月 (万円/人/月) (116)	乗員数 (人) 〔117〕	雑費／漁期 (万円) (118)	歩合率／漁期 (119)	漁具費／漁期 (万円) (120)	えさ代／操業日 (万円/日) (121)	泊地寄港費／回 (万円/回) (122)	ドック費／漁期 (万円) (123)	魚価低減率 β (%) (124)

表 2 計 算 計 画 表 (説明付き) (その1)

Planning Table of the Calculation (with Explanation)

カードナンバー	IP No.	項目	単位	記入例	説明
1	1	船名 or No.		R. MARU	
	2	漁業種類数		3	
	英文	漁業名 (A)		SOKO IPPONZURI	
	〃	〃 (B)		SABA SUKUIAMI	
	〃	〃 (C)		KATSUO IPPONZURI	
2	6	総トン数	トン	7.0	
	7	水線長	m	13.15	
	8	型幅	m	2.82	
	9	ブルワーク間隔	m	3.40	
	10	チャイン幅	m	2.82	
	11	型深	m	0.94	
	12	ブルワーク高さ	m	0.65	
	13	試運転速力	ノット	—	資料の無い場合はインプット不用。
	14	〃 排水量	t	—	
	15	〃 主機負荷率		—	
3	16	主機関馬力	馬力	250.0	連続定格馬力を入れる。
	17	補 〃	〃	〃	〃
	18	燃油倉容積	m^3	3.50	全タンクの合計を入れる。
	19	清水倉 〃	〃	0.63	〃
	20	鋼船		0	
	21	FRP 船		1	FRP 船の場合を示す。
	22	木船		0	
	23	附加物排水量	t	1.501	基線以下の排水量
	24	Box. K. の a/A		0.03	中央断面位置の角キール断面と船体の水面下断面の比
4		(計画満載)			(* 5.4 参照)
	25	排水量	t	15.409	許容最大排水量*の指定値。以下 33 項までその対応値
	26	中央型きっ水	m	0.548	$L_{WL}/2$ 位置の型きっ水
	27	lcb	%	−4.94	文献 4) 参照。重心の前後位置を示す値。
	28	PC		0.45	船の推進係数：EHP/SHP。推定値を入れる。
	29	KB	m	0.307	ハイドロカーブから求める。
	30	BM	m	1.379	〃
	31	κ/B		0.49	横環動半径と船の幅との比。
	32	C_W		0.986	ハイドロカーブから求める。
	33	C_M		0.870	〃
5		(軽荷)			
	34	排水量	t	10.921	軽荷状態の排水量。
	35	中央型きっ水	m	0.415	35〜42 項の内容は 26〜33 項に準ずる。
	36	lcb	%	−4.37	
	37	PC		0.50	
	38	KB	m	0.222	
	39	BM	m	1.951	
	40	κ/B		0.55	
	41	C_W		0.961	
	42	C_M		0.828	

表 2　計 算 計 画 表（説明付き）（その 2）
Planning Table of the Calculation (with Explanation)

カードナンバー	IP No.	項目	単位	記入例	説明（カードナンバー 8 は欠番）
6	43	風圧側面積比	A_0/LB	2.09	中央乾舷 0 の状態時の値を入れる。
	44	A_0 のレバー比	h_0/D	1.73	
	45	漁具重量	t	0.01	漁業種類に応じて積む場合記入する。
	46	特装 〃	t	0	
	47	清水消費量	kg/人/日	50.0	
	48	食糧 〃	〃	3.0	
7	49	船価	万円	2,330.0	
	50	現在の船令	年	4.0	
	51	耐用年数	〃	10.0	
	52	残存価格	万円	1,047.0	
	53	自己資本率	%	21.5	
	54	借入金利率	〃	3.5	
	55	氷価格	万円/t	0.90	
	56	燃油 〃	万円/kl	8.01	
9	68	漁期開始日		1	1月1日を 1，12月31日を 365 として漁期の指定に用いる。
	69	〃 終了日		365	
	70	準備期間	日	24.0	
	71	ドック日数	日	8.0	
	72	漁場距離	浬	50.0	
	73	泊地 〃	浬	25.0	
	74	探魚時間率	%	0	（漁場での探魚時間）／（漁場滞在時間）の百分率
	75	仕込・水揚時間	時	3.0	基地における作業時間の合計。
	76	休養時間／日	〃	5.0	睡眠と食事時間の合計。
	77	操業時間／回	〃	0.2	
10	78	出漁日数／回 (1)	日	1.0	3通りの計画を記入できる。
	79	〃 (2)	〃	2.0	
	80	〃 (3)	〃	6.0	
	81	泊地休養回数 (1)	〃	0	上記の各行に対応した泊地寄港回数 $n_R \leqq (T_{VCY}-1)$ の関係あり。
	82	〃 (2)	〃	1	
	83	〃 (3)	〃	5	
	84	漁獲量（いけす）／回	kg	0.0	活魚として持ち帰る魚の 1 回操業当りの平均漁獲量。
	85	〃（保蔵そう）／回	〃	25.0	冷蔵魚 〃 〃
	86	出港時 氷重量／日	kg/日	300.0	
	87	〃 函 〃 ／日	〃	0.0	
	88	〃 えさ 〃 ／日	〃	30.0	
11	89	いけす容積	m^3	—	いけすの全容積
	90	〃 海水重量／容積	t/m^3	—	（いけすの漲水全重量）／（いけすの全容積）
	91	〃 漁獲 〃 ／海水	t/t	—	（活魚の最大積載可能重量）／（いけすの漲水全重量）
	92	保蔵そう容積	m^3	7.43	保蔵そうの全容積（いけすを含まず）
	93	〃 内重量／容積	t/m^3	1.0	（保蔵そうの最大積載可能重量）／（保蔵そうの全容積）
	94	〃 漁獲〃／魚そう内重量	t/t	0.666	（保蔵そうの魚の全重量）／（保蔵そう内全重量〔含魚，氷，函〕）

表2　計算計画表（説明付き）（その3）

Planning Table of the Calculation (with Explanation)

カードナンバー	PI No.	項目	単位	記入例	説明
12	95	主機負荷率(往)(1)		0.80	第1組
	96	〃 (復)(1)		0.80	第1組
	97	〃 (漁)(1)		0.02	第1組
	98	〃 (往)(2)		0.65	第2組
	99	〃 (復)(2)		0.65	第2組
	100	〃 (漁)(2)		0.02	第2組
	101	〃 (往)(3)		0.40	第3組
	102	〃 (復)(3)		0.40	第3組
	103	〃 (漁)(3)		0.02	第3組
					3組の指定可能。各組の往復航海および漁ろう作業時の主機関の負荷率（ただし百分率ではない）を指定する。
13	104	補機負荷率 (1)		—	第1組
	105	〃 (2)		—	第2組
	106	〃 (3)		—	第3組
					上記の各組に対応する。
14	107	KG/D (往)		0.965	出港状態の（船の重心高さ）／（船の深）の値の指定。
	108	〃 (復)		0.963	漁場発状態　〃
	109	限界風速	m/s	15.0	出漁期間中に遭遇の可能性のある最悪状態を指定する。
	110	GM 基準値*	m	0.35	性能基準を参考にして指定する。(* 5.4 参照)
	111	N_{20}	/度	0.05	実船の資料等　〃　〃
	112	荒天休漁日率	%	73.0	(荒天休漁日数)／(全出漁予定日数) の百分率
	113	荒天漂泊率	%	10.0	漁場滞在時間中の荒天漂泊時間の百分率
15	114	魚価（いけす）	万円/kg	—	
	115	〃 （保蔵そう）	〃	0.0945	
	116	人件費／人／月	万円	15.7	
	117	乗員数	人	2	
	118	雑費／漁期	万円	149.2	
	119	歩合率／〃	%	40.0	
	120	漁具費／〃	万円	28.1	
	121	えさ代／操業日	〃	0.22	
	122	泊地寄港費／回	〃	0.50	
	123	ドック費／漁期	〃	20.0	
	124	魚価低減率／日	%	90.0	(2日操業の際の魚価)／(日帰り操業の際の魚価) の百分率

表 3　アウトプット表
Out Put Table

漁業種類（A）

漁業A（1頁使用）

	速度（往）	〃（復）	出漁日数／回	沖泊数／回	燃費計	人件費計	経費計	活魚売上	冷魚売上	水揚額	利益額	利益率	復原性判定
	V_1（ノット）	V_2（ノット）	（日）	（回/回）	（万円）	（万円）	（万円）	（万円）	（万円）	（万円）	（万円）	（%）	Yes or No
	（1）	（2）	（3）	（4）	（5）	（6）	（7）	（8）	（9）	（10）	（11）	（12）	（13）
1組	主機馬力（往）（馬力）（31）	〃（復）（馬力）（32）	〃（漁）（馬力）（33）	出漁回数（回）（34）	出漁日計（日）（35）	操業数計（回）（36）	寄港数計（回）（37）	活魚／期（t）（38）	冷魚／期（t）（39）	漁獲／期（t）（40）	出漁日率（%）（41）		
	補機馬力（往）（馬力）（51）	〃（復）（馬力）（52）	〃（漁）（馬力）（53）	排水量（往）（t）（54）	〃（復）（t）（55）	型きつ水（往）（m）（56）	〃（復）（m）（57）	GM_1（往）（m）（58）	GM_2（復）（m）（59）	C_1（往）（60）	C_2（復）（61）	バラスト$_1$（t）（62）	バラスト$_2$（t）（63）
⋮													
9組													

漁業種類（B），（C）についても同様。

表 4　アウトプット説明表
Explanation Table of the Out Put

アウトプットナンバー	項目	単位	説明
1，2	速度（往）（復）	ノット	往航および復航時の船の速度
5	燃費計	万円	漁期の合計燃油費。5～10 項まで，すべて漁期中合計。
7	経費計	〃	燃費，人件費を含む漁期の総経費
8	活魚売上	〃	漁期の活魚総売上げ金額
9	冷魚売上	〃	〃　冷蔵魚の　〃
10	水揚額	〃	〃　総売上げ金額。8 項と 9 項の和
13	復原性判定		$C_1 \geqq 1.0$，$GM \geqq GM_R$ の時 YES，他は NO となる。
31，32	主機馬力（往）（復）	馬力	往航および復航時の主機関の出力
33	〃（漁）		漁撈時の主機関の出力
34	出漁回数		漁期中の出漁回数
35	出漁日計		〃　全出漁日数
36	操業数計		〃　全操業回数
37	寄港数計		〃　漁場最寄港への仮泊休養のための寄港回数合計
38	活魚／期	t	〃　活魚の漁獲量総計
39	冷魚／期	t	〃　冷蔵魚　〃
40	漁獲／期	t	〃　活魚と冷蔵魚の漁獲量合計。38，39 項の和。
41	出漁日率	%	（漁期間の総出漁日）／（漁期間総日数）の百分率
54，55	排水量（往）（復）	t	出港時および漁場発時の排水量
56，57	型きつ水（往）（復）	m	上記各状態時の L の中央位置の型きつ水。
58，59	GM_1，GM_2	m	〃　GM の値
60，61	C_1，C_2		〃　C_1 係数の値　（* 5.4 参照）
62，63	バラスト$_1$，バラスト$_2$	t	〃　に積載されている固定バラスト* の重量。

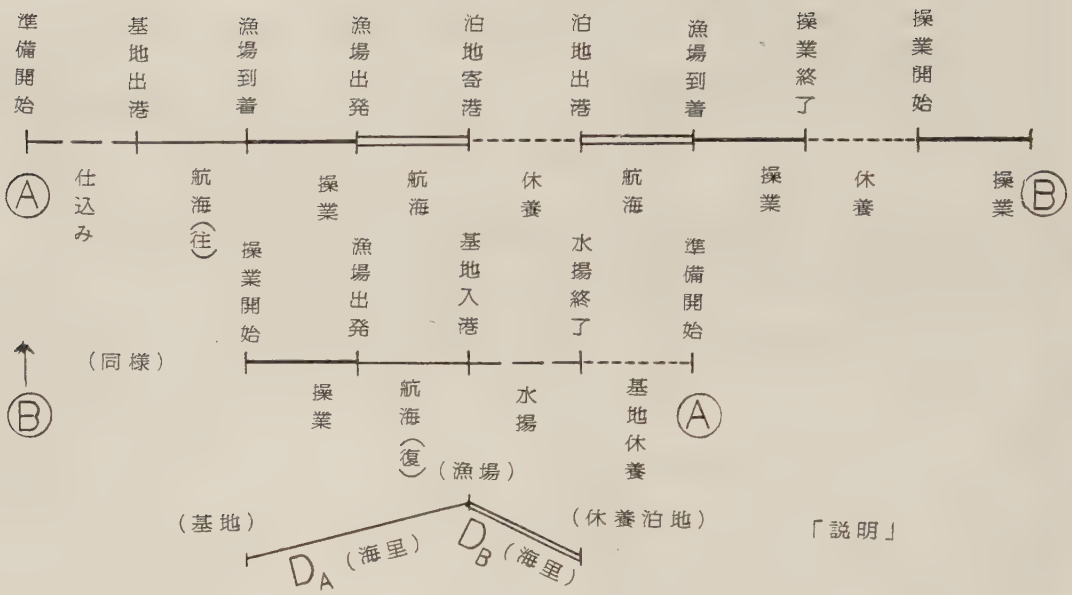


図 2　　操業計画時間割図
Explanation Chart of Operation Time Schedule

図 2 の 説 明 表
Added Explanation Table of Fig. 2

線の種類	説　　明	記号の説明
	単位出漁日数。準備開始から次の準備開始まで。	T_{VCY}（日）
破　線	基地における仕込みおよび水揚げ所要時間	T_{LAND}（時間）
実　線	基地と漁場間の航海所要時間。次式で求める。	
	往航：$T_{A1}=D_A/V_1$　ただし V_1 は往航時の速力（ノット）	T_{A1}（〃）
	復航：$T_{A2}=D_A/V_2$　　V_2 は復　〃　（〃）	T_{A2}（〃）
二 重 線	漁場と休養泊地間の航海所要時間。次式で求める。	T_B（〃）
	$T_B=D_B/(V_1+V_2)/2$	
太 実 線	漁場滞在時間。探魚時間，および荒天のための休漁時間を含む。	T_{FISH}（〃）
点　線	休養時間。若し沖泊りの場合には，その前後の T_B の時間を必要としない。	T_{REST}（〃）

以上から次の関係式が成立つ。

$$T_{FISH}=[24\times T_{VCY}-T_{LAND}-D_A/V_1-D_A/V_2-4\times D_B/(V_1+V_2)\times N_{REST}-T_{REST}\times T_{VCY}]$$

ただし，N_{REST}：休養泊地の仮泊回数。　$N_{REST}\leqq(T_{LCY}-1)$ の関係あり。

4. アウトプット表

表3に計算結果のアウトプット表の様式を示す。表3は計算結果の解析に便利なように，重要な設定条件と計算結果を要約したものを，各漁業種類毎のグループに分けて連載したものである。表3の各項目の（　）の数値はアウトプットナンバーを示す。

夫々の漁業種類毎に，往復航海時の主機関負荷率と，1操業航海当りの出漁日数（以下単位出漁日数と称す）を夫々3個づつインプットできるようになっているので，それらの組合わせの9組の設定条件下における計算結果が1頁内に打ち出され，3漁業種類では3頁のアウトプットとなる。

なお，表3に示す計算結果のアウトプットに先立って，インプットした内容を表1の形式で1頁の中に打ち出すアウトプットが作成される。従って，上記も含めて合計で最大4頁までのアウトプットが作成される。

表3のアウトプットのうち，特に説明を要すると思われるものを表4に示す。

5. プログラムの部分的説明

5.1 操業計画の算出

全国各地の沿岸漁船の操業実態の相当部分をカバーできる一般的操業パターンとしては，日帰り操業だけでなく，複数日操業が実在し，航海のコースも単に基地と漁場の往復のみでなく，出漁途中で夜間休養をとるための最寄りの泊地寄港や，沖泊りも考慮の対象に入れておく必要がある。それらを含めて，本プログラムでは図2のような操業計画まで計算対象に含めることができるものとした。

図2の中に示される各種の線は，説明表に示す内容の所要時間を表わし，その所要時間の算出法も同表中に示す。

図2に示す時間割によって，操業計画毎に単位出漁当りの漁場滞在時間が先づ計算され，それらの数値と他のインプットの数値とによって，漁獲量，燃油消費量，船の排水量の変化，復原性能，収支計算，等が順次求められることになる。

しかし，この場合，漁場往復時の航海速度を実用精度で求める方法はあまり簡単ではない。すなわち，航海速度と船の排水量と操業計画の3者の間には，技術的には強い因果関係があるので，本プログラムでは，最初操業計画の時間割を見積る際には，航海速度は近似式(1)を使って算出し，その算出された操業計画にもとずいて往復航海時の船の排水量を算出し，その後，後述の有効馬力推定式を使って，より正確な航海速度の推定を行い，さらに操業計画を正確に算出するという収れん計算方式を採った。

$$V_K(\text{ノット}) = \frac{SHP_{MO} \times \delta_M \times (PC_{FO} + PC_{LO})/2}{0.094 \times r_t \times [(\Delta_{FO} + \Delta_{LO})/2]^{2/3}} \quad \cdots(1)$$

ただし，沿岸漁船の実態調査にもとずき，(1)式中の $r_t = 0.10$ とする。（r_t：船の全抵抗係数[1]）

5.2 船の重量重心計算

船の出漁中の排水量の推定法は，操業計画にもとずく積載物の積上げ計算を行う通常の方法をプログラムの中で行うにすぎないが，以下の諸点に留意した。

5.2.1 活魚の積載

活魚の積載に当っては，自然換水式の活魚そうを使う場合は船底の換水栓を開くため，漁獲量の如何に拘らず活魚そうの水面はその時のきつ水線付近まで上る。しかし，その際の流入量の推定はあまり簡単ではない。

本プログラムでは，その予想される概略の水量を当初インプットしておき，それによる付加重量計算を行う簡略法を採った。それによる若干の計算誤差は生ずるが，一般に活魚そうの容積は比較的小さいので，目的とする計算に大きな支障は生じないと考えられる。

なお，強制循環，オーバーフロー式の活魚そうに対しても，本プログラムはそのまま使用できるが，比較的大きい自然換水式の活魚そうを持つ船に対しては，そのインプットに際し，十分の検討を要することになる。

5.2.2 消費物の算出

燃油，清水，食糧等の消費量は，操業計画にもとずいて必要量が積算されるが，その余裕として，基地帰着時になお，出港時の各積載量の10パーセント残となるように，予め計算の上積載することとしている。

また，魚函，氷，えさ等の積載量は，インプットの設定値を用い，操業日数に応じて計算する。

燃油消費量については，(2)式により燃油消費率（燃費率とも称する）GS（kg/馬力/時）を求め，次に(3)式により消費量を算出することとしている。

$$GS = (203.7 - 0.108 \times SHP_O) \times (175.0 - 176.5 \times \delta + 98.5 \times \delta^2) \times 10^{-5} \quad \cdots(2)$$

$$(\text{燃油消費量}) = GS \times SHP_O \times \delta \times (\text{運転時間}) \times 10^{3} \cdots(t) \quad \cdots\cdots(3)$$

ただし　SHP_O：主機関または補機関の連続定格馬力

δ：　同　上　の負荷率（100分率ではなく，比で示す値）

5.3　航海速度の推定

航海速度の推定に当っては，船の往復航海時の各排水量，同主機関出力，同推進係数 PC（推定値をインプットで与える），および船型要素により算出する。その中の排水量は前述の重量計算により求め，主機関出力はインプットした主機関馬力（連続最大出力）とその負荷率の積で求める。従って，以下に示す方法で船型要素を求め，さらに有効馬力推定式を使って計算対象船の有効馬力（EHP）と速度（ノット）の関係を求めさえすれば，往復航海時の船の速度を推定することができる。

5.3.1　船型要素と有効馬力推定式

本プログラムの対象とする沿岸漁船は，低速から高速まで幅広く存在するので，往復航海時の航海速度を推定するのに必要な EHP と速度の関係曲線は，文献1）および2）による低速用および高速用の有効馬力推定式を利用することとした。また，それらの算出に必要な船型要素は，インプットした船の要目等を使い，以下の方法で算出することとした。

① 低速用有効馬力推定式に用いられる船型要素[1)4)]：
$L/\nabla^{1/3}$，B_C/T，lcb（%），C_P

② 上式の使用可能速度範囲：
$F_{n\nabla}=0.6\sim1.2$
ただし，$F_{n\nabla}=$(速度 v)$/\sqrt{\text{(排水容積 }\nabla)^{2/3}\times 9.8}$
v：航海速度（m/s）
∇：排水容積（m^3）$=\Delta/1.025$

③ 高速用有効馬力推定式に用いられる船型要素[2)]：
$L/\nabla^{1/3}$，$B_C/\nabla^{1/3}$，lcb（%），C_B

④ 上式の使用可能速度範囲：
$F_{n\nabla}=1.3\sim2.1$

⑤ 任意の排水量 Δ 下の中央型きつ水 T，および各船型要素は，インプット資料を利用し，排水量による直線補間法で求める。(4)～(9)参照。

$$T=T_{LO}+(T_{FO}-T_{LO})\times\frac{\Delta_{FO}-\Delta}{\Delta_{FO}-\Delta_{LO}} \quad \cdots\cdots(4)$$

$$lcb=lcb_{LO}+(lcb_{FO}-lcb_{LO})\times\frac{\Delta_{FO}-\Delta}{\Delta_{FO}-\Delta_{LO}} \quad \cdots(5)$$

$$C_B=C_{BLO}+(C_{BFO}-C_{BLO})\times\frac{\Delta_{FO}-\Delta}{\Delta_{FO}-\Delta_{LO}} \quad \cdots\cdots(6)$$

$$C_M=C_{MLO}+(C_{MFO}-C_{MLO})\times\frac{\Delta_{FO}-\Delta}{\Delta_{FO}-\Delta_{LO}} \quad \cdots(7)$$

$$C_P=C_B/C_M \quad \cdots\cdots(8)$$

ただし，C_{BLO} は(9)式で求める。C_{BFO} も同様。

$$C_{BLO}=\frac{\Delta_{LO}-\Delta_{APP}}{L\times B_C\times T_{LO}\times 1.025} \quad \cdots\cdots(9)$$

5.3.2　シーマージン，PC 等

有効馬力推定式を使って航海速度を算出する際に，シーマージンとして15パーセントの主機関馬力増を考慮することとした。

また，往復航海時の PC（EHP/SHP）の値を推定するには，(10)式によることとした。

$$PC=PC_{LO}+(PC_{FO}-PC_{LO})\times\frac{\Delta_{FO}-\Delta}{\Delta_{FO}-\Delta_{LO}} \quad \cdots\cdots(10)$$

なお，PC_{LO}，PC_{FO} のインプットの数値が不明の際は，現在までの調査結果から推定して，$PC_{LO}=PC_{FO}=0.45$ が概ね妥当な値であろう。

漁場での探魚時，および漁場から最寄りの休養泊地までの往復航海速度は，基地と漁場間の往復航海速度の平均値にすべて統一することとした。

5.3.3　速力試運転資料の利用

対象船の試運転による資料で，速度 V_{TO}，排水量 Δ_{TO} および主機関の負荷率 δ_{MT} が得られている場合には，それらの数値をインプットすることによって，航海速度の推定精度を上げるための補正計算が行われる。その具体的方法は次のとおりである。

① $SHP_{MT}=SHP_{MO}\times\delta_{MT}$ により，主機関出力を算出する。

② 試運転時の船型要素を，Δ_{TO} を用い，5.3.1 に記載の方法に準じて算出する。

③ ②の結果を使い，V_{TO} 時の EHP_{TC} を有効馬力推定式を利用して算出する。

④ $PC_T=EHP_{TC}/SHP_{MT}$ により，試運転時の PC の値を算出する。

⑤ 他方，インプットした PC の値を使い，(11)式により PC_{TO} を算出する。

$$PC_{TO}=PC_{LO}+(PC_{FO}-PC_{LO})\times\frac{\Delta_{FO}-\Delta_T}{\Delta_{FO}-\Delta_{LO}} \quad \cdots(11)$$

⑥ 修正係数 $k_{PC}=PC_T/PC_{TO}$ を求める。

② PC_{LO}，PC_{FO} を次式で修正する。

$$\left.\begin{aligned}PC_{LO}'&=PC_{LO}\times k_{PC}\\PC_{FO}'&=PC_{FO}\times k_{PC}\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(12)$$

⑧ 主機関出力 SHP の算出時にの SHP=EHP/PC の際の PC の値として，すべて(12)式と同様の修正を行う。

5.3.4　速度の推定精度

上述で明らかなとおり，航海速度の推定精度は必ずしも十分とはいえないが，本プログラムの全体バランスからみて，これ以上の詳細な計算を行うだけの必要性はないと考えられたので，現段階では上記の方法を採用するに止めた。

5.4 船の復原力の検討

5.4.1 判定基準

沿岸漁船の復原力の良否の判定用として，小型漁船の性能基準の中に，GM と乾舷の最小限界値が定められている。またそれとは別に，甲板上の水密性の良くない小型漁船の実態を考慮して，近年，ブルワーク頂部までの無甲板船と見做す判断基準の必要性が提唱されつつあり，その際の判定示数として，C_1 係数[3]の重要性が一層認識されてくると考えられる。

本プログラムでは，上記の性能基準にもとずいて，安全上の許容最大排水量 Δ_{FO} をインプットし，それを超える過載状態が操業計画の際に生じた場合には，その計画時の計算をストップすることとしている。また，GM の許容最小限値もインプットし，もし出港，および漁場発状態の GM 値がそれを下廻る場合には，必要な固定バラストを船底に積んで，GM 不足を解消するようにしている。(5.4.4 参照)

C_1 係数に関しては，上記の両状態において計算を行い，それらの数値を打出すと共に，$C_1<1.0$ の時には NO の文字も示されるので，一見してその良否を判定することができる。C_1 係数の計算に必要な気象海象は，定常風速 U (m/s) の数値のインプットにより設定する。

C_1 係数は (13) 式で算出されるが，詳細は文献 3) を参照されたい。

$$C_1=\frac{D-T+H_{\mathrm{BUL}}}{\frac{B_{\mathrm{BUL}}}{2}\times\tan(\theta_0+\theta_1)} \quad \cdots\cdots(13)$$

ただし，θ_0：波による同調ローリング角度

θ_1：風による傾斜角度

このほか，C_1 係数の算出に必要な N 係数，および船体中央部のブルワークの高さと左右舷のブルワーク間隔は，インプットすることとしている。

5.4.2 KG の推定

船の重心の高さ KG は船の復原力判定に不可欠の要素で，船の軽荷状態に積載物を加算する方法で求めるのが普通であるが，本プログラムでは，復原力判定を行う出港，および漁場発状態時の KG/D の値を予めインプットしておくこととした。

そのようにした理由は，KG の値の船毎の相異が比較的大きく，現存船に対しては簡単な近似式による推定よりも信頼性の高い方法と考えられたからである。しかし，それだけに，インプットする両状態の KG/D の値は，船の使用実態調査等により，慎重に検討の上記入する必要がある。

5.4.3 KM の推定

船の横メタセンター高さ KM の推定も，復原力判定上重要であることは，GM=KM−KG の関係で明らかであるが，本プログラムでは以下の方法を採った。

① KM=KB+BM の右辺を夫々求める。

② 排水量 $\Delta(t)$ の状態の KB および BM は (14) および (15) 式で求める。

$$\mathrm{KB}=\mathrm{KB}_{LO}+(\mathrm{KB}_{FO}-\mathrm{KB}_{LO})\times\frac{\Delta_{FO}-\Delta}{\Delta_{FO}-\Delta_{LO}} \quad \cdots\cdots(14)$$

$$\mathrm{BM}=\frac{B^2\times C_W}{T\times C_B}\times k_{BM} \quad \cdots\cdots(15)$$

ただし，(15) 式中の k_{BM} は (16) 式により求める。

$$k_{BM}=k_{BML}+(k_{BMF}-k_{BML})\times\frac{\Delta_{FO}-\Delta}{\Delta_{FO}-\Delta_{LO}} \quad \cdots\cdots(16)$$

ただし，(16) 式中の k_{BMF} は (17) 式で求める。

k_{BML} についても同様。

$$\mathrm{BM}_{FO}=\frac{B^2\times C_{WFO}}{T_{FO}\times C_{BFO}}\times k_{BMF} \quad \cdots\cdots(17)$$

ただし，(17) 式中の C_{BFO} は (18) 式により求める。

C_{BLO} についても同様。

$$C_{BFO}=\frac{\Delta_{FO}-\Delta_{APP}}{L\times B_C\times T_{FO}\times 1.025} \quad \cdots\cdots(18)$$

5.4.4 固定バラストの積載

出港，および漁場発状態時のGMの値が，基準値 GM_R より小さいときは，軽荷排水量 Δ_{LO} の 2.5 パーセントの固定バラストを船底に積んで新たな軽荷状態を作り，それを使って各状態の再計算をして夫々の新しい GM 値を求め，$\mathrm{GM}\geqq\mathrm{GM}_R$ となるまで同様の方法をくり返すこととしている。しかし，もしその計算で 25 パーセントの固定バラストを積んでも GM が不足する時は，計算は打ち切られる。

以上の措置は各漁業種類の操業計画ごとに行われる。

5.4.5 トリム変化

漁船のトリムは積載条件によって大きく変化し，それに伴って KM 値を大幅に変化させる場合がある。この点を考慮して，本プログラムでは，Δ_{FO} と Δ_{LO} の両排水量時の KB と BM の値をインプットする際には，夫々の状態における実際のトリム下の KB と BM の値を入れることにより，この問題の解消を図った。

5.5 漁業採算性計算

5.5.1 漁業種類毎の収支

本プログラムは，年間に主業も含めて 3 種類までの漁業を営む沿岸漁船を対象にして作成し，その収支計算は各漁業種類毎，すなわち漁期毎に行うこととした。ただ

し，年間を通じて支出を考えねばならぬ船価償却費，その他の経費については，その漁期の長さに比例して配分することとした。

ただし，特定の漁業を行う際に必要な入渠費等については，夫々の漁業に属する経費として考えることとした。

5.5.2　利益額

利益額は，各漁業種類毎の総収入（すなわち総水揚）から総経費を差し引いた金額とし，夫々の内訳は以下のとおりとした。

（総収入）＝（活魚の平均魚価）×（活魚の総水揚量）
＋（冷蔵魚の平均魚価）×（同総水揚量）

（総経費）＝（燃油費）＋（清水費）＋（食糧費）
＋（氷代）＋（えさ代）＋（函代）
＋（水揚手数料）＋（漁具費）＋（泊地寄港費）
＋（漁期内諸雑費）＋（ドック修繕費）
＋（乗員給料）＋（乗員歩合）＋（借入金利息）
＋{（年間船価償却費）＋（租税公課）}
×（漁期日数）/365

5.5.3　漁獲量の推定

漁獲量の推定には1回操業当りの漁獲量（単位漁獲量）を，漁期中を通して一定としてインプットすることとし，その区分は，魚価及び積み方の著しく異る活魚とそれ以外の冷蔵魚のみとし，それ以上の細分化は考慮しなかった。

漁船漁業の採算性を検討する際に，漁獲量の占める比重は極めて大きいが，その量を推定するには多くの要素が関連し，安易な推定をすることが困難のため，止むなくこの方法を採るに止めた。従って，インプットの数値を決める際には，過去の実績と現状分析を含めた慎重な判断を必要とする。

5.5.4　魚価の推定

漁獲量に劣らず，魚価の影響も極めて大きいが，魚価決定に係わる要素は多く，かつその関係は複雑で，簡単な推定は極めて困難と考えられたので，漁獲量と同様，従来の経験と環境分析にもとずいた漁期を通じての平均値をインプットすることとした。その際，漁獲量の区分に対応して，活魚とそれ以外の冷蔵魚の魚価を夫々指定する。

また，操業日数の長期化に伴う魚価の低下を考慮して魚価低減率を設け，(19)式により魚価を求めることとした。

（n 日操業時の魚価）＝（日帰り操業時の魚価）
×[（魚価低減率）/100]$^{(n-1)}$
……(19)

5.5.4　その他の計算式

船の減価償却費，利息，および利益率は，以下の諸式によることとした。

（減価償却費）＝{（船価）－（残存価格）}/（耐用年数）
……(20)

（借入金利息）－（船価）×{1.0－（自己資本率）/100}
×（借入金利率）/100……(21)

（利益率）＝{（総収入）－（総経費）}×100/（総収入）
……(22)

以上は，遠洋漁船の同種のプログラムの作成[5]に当って使われた考え方をそのまま用いたものである。

6.　本プログラムの利用法

本プログラムは，漁業を取り巻く諸環境が大きく変動する中で，現存の沿岸漁船が今後どのような操業計画を建てたら漁業経営上最も有利となるか，またそのためには今後どのような点を研究開発したらよいかを幅広く検討解析するために作成されたものであって，個々の沿岸漁船の収支を正確に算出することを目的としたものではない。

たとえば，過去10年来，沿岸漁船の漁場までの往復航海速度が年々増加しているように見受けられるが，石油価格の高騰した現在においても，なお高速化が漁業経営上有利であろうか。あるいは，日帰り航海の代りに，2～3日航海に切り替えることにしたらどうであろうか。その際の魚価の低下はどの程度まで許容されるのであろうか。また，沖泊りの際の船の安全は確保されるのだろうか。それらのことを定量的，解析的に検討するには，本プログラムのような手段を使い，電算機の力を借りないと，仲々判断のつかぬことが多いと思われる。

すなわち，本プログラムは，沿岸漁船漁業の経営合理化のため，種々の要素を人為的，系統的に変化させ，それらの設定条件下の経営上の得失を，ある程度まで定量的に相互比較し，その対策を検討するために使うべきものである。

従って，インプットの数値の記入に際しては，実態に合ったものを慎重に検討して決めることが重要であり，実情と異る数値をインプットしたために生ずる誤解や混乱の責めは，本プログラムに帰せられるべきではない。

本プログラムの利用者は，この点をよく理解の上で，有効な利用を考えて戴きたい。

7.　考　　察

本プログラムの作成に当っては，その基本構想を固め，骨格を作ることを第一優先に開発が試みられ，その

試用の段階で更めてこの種のシミュレーション解析の重要性が再認識されつつある。また，それに伴って，今後さらに検討すべき問題点が少しづつ明らかになってきた。それらを要約すると以下のとおりとなる。

① 漁獲量の推定

本プログラムでは，単位操業当りの漁獲量を漁期を通じての平均値としてインプットすることで処理したため，その凡用性はあるものの，漁獲量が漁業経営に及ぼす影響が極めて大きいだけに，今後漁場環境や漁獲機能の変動に対応した，より科学的な推定法の作成が望ましい。たとえば，漁期中の漁獲量変動，単位操業当りの漁獲量のバラツキ，漁船の漁獲能力，さらに漁場の資源量，出漁漁船数による影響などを考慮した合理的推定法の開発が必要と思われる。

② 魚価の推定

魚価の推定も上記と同様，活魚と冷蔵魚の2区分のみの漁期を通じての平均値と，航海日数増に伴う魚価低減率のみが指定されるに過ぎないが，今後この種のシミュレーション解析を進めるに当っては，漁期中の変動，保蔵法の改善の影響，漁獲量との相関などを考慮に入れた，より合理的な魚価の推定法が開発されることが望ましい。それによって，この種の解析が一層実用価値を高めることになると思われる。

③ 探魚率と荒天休漁日率

漁場滞在時間のうち，探魚時間の占める割合いが増えれば，その分だけ純操業時間は減り，漁獲量は減少する。また，荒天のために出漁できない日が多ければ，同様の結果となる。それらは漁業経営に直接ひびく問題だけに，広域探魚方式の開発，漁船の荒天時の耐航，漁ろう性能の向上などの工学的研究開発は重要である。その際の研究の成果が，漁業経営の改善にどの程度の貢献をし得るものであるかを，本プログラムの解析等によって予め知ることができれば，それらの実用化研究を進めるに当って一般の理解を得易いこととなる。

④ 航海速度の推定

本プログラムで用いた推定法は，工学的にはあまり精緻な方法ではないが，他の部分とのバランス上この程度に止めたものである。従って，今後必要となれば，より精度の高い方法に改善することは可能であろう。その際の改善点としては，船底付加物の影響と，プロペラによる推進効率の向上対策を優先したいが，その他に，各種の船型採用に備えて有効馬力推定式の改善も必要になって来よう。

⑤ 経済性示数

経営合理化の判断示数として，本プログラムでは単純に総売上げ高に対する利益額の比を利益率と称して採用しているが，それ以外にも様々の考え方にもとずく示数が考えられる。その何れを有力な指針とするかは，計算目的によって異ることになるが，それらの計算は本プログラムによる計算の最後の末端の部分に当り，本質的な改変を必要としないので，必要に応じて新しい示数に変更することは容易である。

⑥ 網漁業船えの利用

本プログラムは，底ひき網漁船，まき網漁船など，重装備の漁具を持ち，大量の漁獲物を積載する漁船を対象に作られたものではないので，それらの漁船えの利用の可能性については慎重な検討を要する。もし利用するとすれば，インプットの際の諸数値の見積りを十分慎重に行うことが必要である。

⑦ インプット時の注意

以上を要約すると，本プログラムにおいては，漁業経営に大きな影響を持つ漁獲量，魚価，荒天休漁日率，探魚率，推進係数（PC），KG/D，船価，耐用年数，自己資本率などのインプットの数値を決めることが極めて重要な要件であり，そのための正確な実態調査，解析，あるいは工学技術的基盤が欠けていると，折角の計算結果も大きな誤解を招く結果になりかねないので，インプットに対する慎重な配慮を重ねて特記したい。

しかし，この種のシミュレーション解析において，上記のようにインプットの記入者の特段の知識，技能を必要とするものであっては，その有効利用の路を閉すことにもなり兼ねないので，今後その点の改善を加えてゆくことが大きな研究課題と思われる。

8. あとがき

本プログラムは，農林水産省において実施に移されている特別研究「沿岸漁船の操業効率の向上のための最適システム化」の昭和57年度の研究の一環として作成されたものである。同プロジェクト研究の企画と実施に当り，種々御骨折戴いた関係者各位に深甚の謝意を表すると共に，今後研究成果の活用と普及に努めることにより各位の御厚意に報いたい所存である。

本プログラムを試用した解析例は既に数例を下らないが，本報告ではプログラムの内容説明に止め，試算結果の紹介については，今後興味ある解析例がまとまるごとに，別途報告することとしたい[6]。

本プログラムの作成に当り，機関の燃費率推定式のご指導を戴いた東京漁業技研の草間喜代松氏，および全般にわたり種々御意見を戴いた（株）数理計画の村岡正康氏に心から謝意を表します。

参 考 文 献

1) 小型 FRP 船型用馬力推定図表：(財) 日本小型船舶工業会，(財) 日本造船技術センター，1977
2) 小型 FRP 船型用高速域馬力推定図表：(財) 日本小型船舶工業会，1981
3) 土屋 孟：漁船の復原性能の理論的解析法について，漁船研究技報 第25巻，1971
4) 土屋 孟：漁船船型の有効馬力に関する統計解析とその実用化について，漁船研究報告，第6号，1973
5) 環境適応型漁船開発方策検討事業報告書，(社) 漁船協会，1980，1981
6) 鈴木四郎：底魚一本釣漁船の経営合理化の可能性について(操業計画シミュレーション)，水産工学研究所技報 漁船工学 第5号，1984

Simulation Program to find the Optimum Operation Plan of a Coastal Fishing Boat

By

Tsutomu TSUCHIYA

Summary

Economical surroundings of the coastal fishing industry in Japan is getting worse year by year. This computer program is composed to find the economically optimum operation plan to improve the economical crisis of the industry.

The outline of the program is to estimate the amount of the profit under the simulated optimum operation plan which is found out by a definite technical simulation method on the refference of the actual fishing activities. The input and output format are shown in Table 1 and 3.

The program is composed under the following considerations;

1. The coastal fishing boats in Japan are generally engaged in two or three kinds of fishing operations in a year.
2. There are many factors of the fisheries surroundings which affect to the economical activity of the coastal fishing boats.
3. The simulation in the program starts from composing the detailed operation plan under a given fisheries surrondings, and the economical estimation follows from it.
4. The economical effects of the boat's speed and days of a fishing voyage can be analized easily by the program.
5. The necessary freeboard and stability of a fishing boat can be maintained in the operation plan on the view point of safety. If necessary, solid ballast weight can be put on the bottom of the boat to let the boat be stable.
6. EHP estimation method of the coastal fishing boats in Japan are utilized to estimate the necessary main engine power or the navigation speed.
7. Living fishes and iced fishes are seperately considered in the simulation.
8. The mean price and catch of the living fishes and the iced ones in each fishing season are input respectively on the analysis of the actual data.

The examples of the simulation analysis by this program will be reported in the seperate papers, which will suggest how to improve the operation plans of the existing coastal fishing boats under the various surroundings of the fisheries industry.

水工研報告 5
1984 p.p. 97~183

高速沿岸漁船の速力性能に関する研究**

小　林　　務*

目　　次

1. まえがき …… 97
1.1 研究の目的 …… 97
1.2 研究経過 …… 98
1.3 本論文の構成 …… 100
2. 高速漁船の統計資料 …… 101
2.1 表現法 …… 101
2.2 統計解析 …… 102
2.3 実船全抵抗係数 γ_{10} 推定の必要性 …… 102
2.4 実船全抵抗係数 γ_{10} と船型要素の関係 …… 103
2.5 船型要素の選定 …… 103
3. 実船全抵抗係数算定式 …… 105
3.1 重回帰分析 …… 105
3.2 算定式の内容 …… 106
3.3 算定式の適用範囲 …… 108
3.4 算定式の精度 …… 108
3.5 算定式使用上の注意 …… 108
3.6 算定式と実験結果の比較例 …… 109
3.7 考　　察 …… 109
4. 船型改良法 …… 112
4.1 船型改良の一般的方法 …… 112
4.2 底曳網型船型（M-124）の船型改良〔応用例 1〕 …… 116
4.3 一本釣型船型（M-125）の船型改良〔応用例 2〕 …… 118
5. 模型実験による確認 …… 120
5.1 供試模型船 …… 121
5.2 抵抗試験 …… 121
5.3 波形解析 …… 123
5.4 考　　察 …… 123
6. 推進性能に関する確認 …… 124
6.1 研究経過 …… 124
6.2 試験結果の表現法 …… 125
6.3 模型船による自航試験結果 …… 126
6.4 実船による計測結果 …… 127
6.5 模型船と実船の試験結果比較 …… 127
6.6 高速域における自航要素の改善 …… 129
6.7 考　　察 …… 129
7. 結　　論 …… 131
謝　　辞 …… 132
参考文献 …… 132
表・図・写真 …… 134
Summary …… 180

1. まえがき

1.1 研究の目的

沿岸漁業に用いられる小型漁船は，従来木造船が殆んどであったが，材料力学的にこれに優る複合材料 FRP (Fiber Glass Reinforced Plastics) が研究されるに及んで，FRP の小型漁船への応用が進められ，折からの船用木材の固渇・高騰，木工作の難度と熟練船大工の激減が重って，殆んどの沿岸小型漁船が FPR 製にとって替りつつあるのが現状である（表 1，表 2 参照）。

FRP 化によって均質の強度が保証され，かさばらず，しかも船が軽くなるという構造上のメリットは，より高出力エンジンの搭載を可能にし，又，魚倉等の拡大をも可能にするなどの波及効果をもたらし，漁船としての性能向上に貢献していることは万人の認めるところであるが，FRP 化が小型漁船にとって革命的な技術革新であったため，これに呼応して配慮さるべき船型形状や設計上の問題・研究開発が残されていることも事実である。

FPR 化によって船体重量が著しく軽量化されることを充分に検討しないまま従来と同型にした船型については復原性能，乗り心地，操業性能が著しく劣るものが多数実在することが実態調査から明らかにされている。木造船と同船型で建造された FRP 製底曳網漁船では当然

* 漁船工学部
** 本論文は筆者の学位申請論文の概要である。本論文に対し，昭和 58 年 11 月 17 日 東京大学から工学博士の学位が授与された。

喫水が過小となるためにプロペラ深度が不足となり，曳網力が低下した。

このため，大量の船底バラストを搭載し船足を深くすることによって曳網力を回復させることはできたが，これによって船体重量重心が低下し，横揺周期が短かくなり，漁撈作業が困難となった船がある。FRP 製船舶は従業員 10 名以下の小造船所で建造される場合が多く，一品生産主義の大型船と異なり，型による成型方式がとられることから，ひとたび劣悪の「型」が出来上ると大量に性能の悪い船が生産されるという危険性もはらんでいる。

同様のことは推進性能についても言え，充分な技術的検討が行われないまま，従来の木造船時代の考えの踏襲ないし継続にもとずく試行錯誤による対策しかとられていないのが実情である。

推進性能の見地から FRP 船の船型設計を考える場合，FRP 船が木船と根本的に異なる点は軽量（浅喫水），高速（高馬力）という設計条件の変化である。漁船に搭載される単位排水量当りの主機関馬力は，今なお全国的に増大の傾向にあり，又，FRP 漁船の船体重量の軽量化とが相俟って，就航速力は漁船として未開発の高速領域 $F_n=v/\sqrt{Lg}=1.0$ にまで達し，馬力浪費型の船型が多くなっている。

従来，漁船における諸性能の改良は，建造された実船の使用実績を見ながら長い年月を費して進められるのが常であったが，木船から FRP 船への急激な変革に際してはそれに応じて，早急に船型改良を行なうことが必要である。

沿岸漁船の大部分が木船から FRP 船へと替わる見透しが明確となった今日，FRP 漁船の船型と抵抗の関係を広い速度領型にわたって明かにし，特に高速領域における推進性能を明らかにして船型改良を行ない，漁船の省エネルギー，操業の効率化に寄与することが重要である。

本論文は，このような背景のもとに高速沿岸漁船（FRP 船が大部分を占める）の推進性能について研究し，馬力推定並びに船型改良の有効な方法を見出すことを目的とする。

1.2　研究経過

沿岸漁船の船型は，概ね総トン数 5 トン未満の階層に多い和船型，5～15 トン階層に多い和洋折衷型，15 トン以上に多い西洋型の 3 種類に大別され，その特徴は次のとおりである。

和船型はわが国の伝統的な構造方式を持つ「やまと型」が原型であり，木船は従来からの構造方式によって船型が形成されるが，FRP 船においても，この船型から派生したものが多い。船型の特徴は船首尾に全通したハードチャイン船型であり，船尾はトランサムである（図 1 参照）。

和洋折衷型は和船型に西洋型を混合した船型である。その特徴は主船体はハードチャイン・トランサム船型（ただし，船体前部に丸型フレームライン形状を持つものもある）であるが，キールや船尾部構造が西洋式であり，大きなスケグを持っている（図 2 参照）。

西洋型は丸型フレームライン形状（ただし中央部はハードチャインが多い）を持った西洋式構造の船型である。

これら 3 種の船型のうち本論文が対象としてとりあげる和船型並びに和洋折衷型船の船型に関する従来の研究を概観すると以下のとおりとなる。

わが国においては，これまでハードチャイン・トランサム型漁船船型の研究は殆んどなく，従って研究報告も極めて少い。昭和 40 年（1965）代の後半に至り，FRP 漁船の船型研究が関連団体において実施されるまでは，僅かに水産庁漁船研究室* において行われた研究が報告されているに過ぎない。

漁船研究室においては，昭和 25 年（1950）創立直後から，和船型並びに和洋折衷型漁船船型の抵抗特性を把握する目的で，和船型実験船「あかつき」を母型とする系統模型試験（5 隻，45 状態）並びに和洋折衷型実験船「ちどり」を母型とする系統模型試験（5 隻，45 状態）が行われ，その後も必要に応じてハードチャイン・トランサム船型の沿岸漁船の抵抗試験が実施され，船型改良が行われると共に，技術指導が行われて来た。

昭和 27 年（1952）大津・松木及び著者等は和船型実験船「あかつき」[42]について，昭和 28 年（1953）には和洋折衷型「ちどり」[44] について模型船抵抗試験結果を報告している。

これらは船型の抵抗特性を丸型フレームライン形状を持つ排水量型船型と比較検討するためであった。その結果「あかつき」については，$F_n=0.40\sim0.48$ において排水量型船型と異なり半滑走状態になることが認められ，しかも最適な初期トリムが存在し，一般に剰余抵抗係数が低いことなどが明らかにされた。「ちどり」については，抵抗特性は「あかつき」に類似しているが，$F_n=0.30\sim0.45$ において剰余抵抗係数が「あかつき」に

* 水産庁海洋漁業部漁船研究室は昭和 54 年 3 月 1 日より水産庁水産工学研究所漁船工学部と組織が改まる。

比し 30～40% 高いことが明らかにされ，船型改良が必要であることが示された。

次いで「あかつき」並びに「ちどり」の周辺船型の抵抗特性を明らかにするため，両船型を母型とする系統模型試験が実施された。そのうち「あかつき」の系統模型試験結果[13]が昭和33年（1958）著者により報告されている。L/B と船底勾配を変化させた5隻（45状態）の抵抗試験結果から，同一排水量において $L/B=4.0\sim5.0$ の範囲では有効馬力は殆んど相異はないが 5.0 以上では有効馬力は減少し，又，船底勾配が 13 度近傍の有効馬力が最も高い等の結果が得られた。

しかし，この系統模型船は L/B 並びに船型勾配を変化させるに当り，実用船型から離れないようハードチャインを決めて線図を作成し，抵抗試験は喫水一定で実施された。従って，同一喫水における排水量の差が大きいため，同一排水量で比較する場合に不具合な面が多く，解析方法の検討が問題点として残された。

推進性能を含めた船型研究は，昭和27年（1952）大津，和田，川野，著者等による和船型実験船「あかつき」の海上実験成績[43]，昭和28年（1953）には大津，横山，川野等による和洋折衷型実験船「ちどり」の海上実験成績[45]が報告されている。

当時，漁船研究室においては，小型漁船用に開発された漁研4型捩り動力計（機械式トルク・スラスト計）を使用して実船軸馬力（SHP）を計測し，模型船抵抗試験結果（EHP）と比較して推進係数（PC＝EHP/SHP）により推進性能を把握する試みがなされた。

その結果，推進係数 PC は試験速度範囲 $F_n=0.28\sim0.36$ において「あかつき」が 35～40%，「ちどり」が約 25% であること，伴流係数 w は「あかつき」が $-0.10\sim-0.15$，「ちどり」が $0.02\sim0.15$ であることが明らかにされ，和船型並びに和洋折衷型の貴重な自航要素が得られ，沿岸漁船の高速化に伴う船型変化と自航要素の変化を比較対照する資料となっている。

昭和30年（1955）以降は木造漁船船型における高速化のための改良と推進性能把握のための自航試験並びに実船実験等が実施された。

昭和41年（1966）著者による和船型漁船の自航試験と実船実験の比較検討結果[21]が報告されている。和船型としては大型な 19 トン型まき網漁船の自航試験と実船馬力計測試験が併行して行われたが，両者の推進係数 PC に約 15～30% の相異が見られた。又，プロペラ軸傾斜と軸深度の変化による自航試験が行われ，船体とプロペラの相互関係による自航要素の変動の模様が示された。

昭和42年（1967）には著者による和船型漁船の波浪中の抵抗増加が研究され[19]，ハードチャイン船型は丸型フレームライン船型に比較して $F_n=0.3$ 以下の速度領域において抵抗増加率が高いことが報告されている。

以上がハードチャイン・トランサム船型を持った木造沿岸漁船の船型研究の経過である。

昭和40年（1965）代に入り，FRP 船が漁船に導入され，FRP 漁船の普及が漸く盛となった昭和45～46年（1970～71）頃に到り，漁業者の間から船型改善のため標準設計を強く要望する声が挙がり，これに応答して水産庁をはじめ関係諸団体において FRP 製沿岸漁船の研究が本格的に着手された。

昭和46～50年（1971～75）の間に，小型底曳網漁船，こんぶ採取船，ほたて貝採取船，一本釣漁船，小型まき網漁船等の標準設計が行われたが，著者はこれらの研究委員会の委員として参画し，船型研究は漁船研究室との共同研究として推進されたため，これらの標準設計船の推進性能の調査は漁船研究室が担当した。

著者等はこれらを含む高速 FRP 漁船8隻について模型試験を実施し[8]，船型改良についての主要な提言を学業界に対して行った。

一方においては，特定の標準船の性能ではなく，任意の船型について推進用馬力（EHP，BHP）の推定を可能にする施策について強い要望があった。

これに対して土屋は昭和47年（1972）に馬力算定式[1,2]を作成した。この算定式は丸型フレームラインの排水量型船型を適用対象としており，速力範囲も低いため，ハードチャイン・トランサム船型を持つ高速沿岸漁船には適用出来ない。

漁船以外を対象とした馬力推定図表（BHP）には，高速艇用に開発された丹羽チャート[33]（ハードチャイン船型及びディープV船型用の2種類）があり，漁船業界においては高速艇型漁業取締船の設計に使用されるが，沿岸漁船用には速力・排水量比が異なるため部分的にしか利用出来ない。

又，中速艇用には海上保安庁の巡視艇を中心として開発された大隅チャート（BHP）[47]があるが，これも前者と同様の理由で漁船用には使用しにくい。

以上の結果，現在最も望まれる研究としては，第一に現存する高速沿岸漁船船型の有効馬力（EHP）の推定法，第二に自航要素の解明も含めた所要主機関馬力（BHP）の推定法の確立の二点に絞られる。

（財）日本小型船舶工業会においては，「FRP 船船型・

構造並びに性能等」の研究開発事業のうち，昭和48年度から「FRP製船舶船型開発委員会」を発足させた。12隻の系統模型船の抵抗試験結果60状態を船型要目を変数とする統計解析が行われ，昭和51年（1976）低速域（$v/\sqrt{Lg}=0.27\sim0.54$）の全抵抗係数算定式が作成され，翌年馬力推定図表[10]が公表された。引続き昭和56年（1981）高速域（$V/\sqrt{Lg}=0.54\sim0.89$）の全抵抗係数算定式が作成され，馬力推定図表[31]が公表された。

対象船型は一本釣及びはえなわ漁船等で，これらの全国平均的な主要目を持ったものを母型として，$L/\nabla^{1/3}$，B/d 及び C_B を変化させた系統模型船を供試船としている。このため実用から外れた船型が含まれるが，未来を志向したものと言えよう。

この事業が発足する1年前の昭和47年（1972）に，FRP漁船研究会においては，漁船研究室既存の沿岸漁船の抵抗試験データに新しい高速FRP漁船のデータを加えて，実用船型をもとにした馬力算定式を作成する計画が立てられ，統計解析用のデータ処理が開始された。著者はそれ以来全抵抗係数算定式の作成に当った。その結果次のことが明らかとなった。

① ハードチャイン・トランサム船型においては，抵抗曲線のLast hump（通常約 $F_n=0.5$）を越えるまでの速度領域とそれ以上の領域においては，船体抵抗を支配する船型要素が異なる[1,9]。

② ハードチャイン・トランサム船型においては，船体抵抗を支配する船型要素はLast hump以下の速度領域において丸型フレームライン船型と異なることが考えられる。丸型フレームライン船型では，排水容積長比 $L/\nabla^{1/3}$，柱形係数 C_P，中央横断面係数 C_M，浮力中心 LCB，水線入射角 $\frac{1}{2}\alpha_E$，幅喫水比 B/T 等の船型要素が抵抗値に大きく影響することが，土屋の式の実用過程で明らかにされた。

又，Last humpを越えた高速領域においては，船体重量及び重量重心の前後位置，滑走面形状及びその迎角等滑走時の動的バランスを表現し得る船型要素を選定する必要がある。

従って，高速沿岸漁船船型（殆んどハードチャイン・トランサム船型）用の実船全抵抗を推定するために，全速度領域をLast hump附近で高低2つの領域に分けて夫々船型要素を選定して実船全抵抗係数算定式を作成する必要がある。

1.3 本論文の構成

前章で述べた研究経緯を踏まえ，本論文では高速沿岸漁船の速力性能について研究する。

小型漁船においては，復原性能を最優先して確保する必要があるため，復原性能の許容範囲内での速力性能を論ずる。

速力性能は船型の良否による抵抗性能を基本とし，船型とプロペラの相互効果による推進性能を考慮しなければならないが，本論文では高速域と低速域に分けて速力性能を重点に船型改良を行い，推進性能については確認に留める。

このような研究を実施するには次の研究が必要である。

(1) 高速漁船の統計資料
(2) 実船全抵抗係数算定式
(3) 船型改良法
(4) 模型船による確認
（船型改良の応用例と水槽実験）
(5) 推進性能に関する確認

本論文はこのような項目で構成することとした。

それぞれの検討項目内容は概略次の通りである。

(1) 高速漁船の統計資料

ハードチャイン・トランサム船型のみを対象とし，これらの統計資料として，従来からの木造和船型漁船及び和洋折衷型漁船の漁船研究室における既存抵抗試験データ105状態に，新たに高速FRP漁船の抵抗試験データ41状態を加え合計146状態を準備する。

(2) 実船全抵抗係数算定式

船型を表わす手段としては充分ではないが，複数個の船型要素を用いて抵抗を近似することとし，速度領域をLast hump（約 $F_n=0.5$）を境にし，低速域（$F_n=0.3\sim0.5$）と高速域（$F_n=0.5\sim0.9$）に分けて，速度毎の実船全抵抗係数 γ_{10} を算定する。

ここに γ_{10} とは後述するように排水量10 tの船に換算した指数である。船型要素を変数とし重回帰分析法による回帰式を求める。回帰式を求める段階で最少限必要な船型要素を検討する。

(3) 船型改良法

船型改良の方針をさぐる手段として使用するため，実船全抵抗係数 γ_{10} 算定式をもとに低速域用及び高速域用に分けて γ_{10} 推定表を作成する。

船型学的応用として高速域用の船型について船型改良を2例について試みる。一つは算定式使用範囲における抵抗極小船型，他は外挿範囲における改良の試みである。前者については底曳網漁船を対象とし，後者については一本釣漁船を対象に具体的船型改良（設計）を行なう。

(4) 模型実験による確認

このようにして求められた船型が推定通りの性能が得られているかを水槽模型実験によって確認する。

抵抗試験，波形計測，波紋撮影等を実施して船型改良の効果を多角的に検討する。

(5) 推進性能に関する確認

抵抗性能が優れていても，プロペラと船体の相互関係が良くなければ推進性能は必しも良好であるとは保証されない。

在来の模型船自航試験結果及び実船実験結果を勘案して自航要素の概略値を提案し，主機関馬力の推定が行えるよう配慮する。

2. 高速漁船の統計資料

2.1 表現法

2.1.1 全抵抗係数 r_{10}

全抵抗係数は何による無次元表示が妥当であるかを考えてみる。高速沿岸漁船の抵抗試験時における船の姿勢変化は図6の dipping curve にみられるように running trim の変化が著しい。しかし，last hump を超えて半滑走になると running trim はほぼ一定となり，船は静止時喫水線より浮上するのが一般である。

このように高速沿岸漁船では水線長並びに浸水表面積は速度により変化し，これらを用いて無次元表示にすることは必ずしも妥当とはいえない。

船型要素のうち，漁船にとって最も重要と思われるものは排水量であり，静止時の排水容積を使用するのが大方の基準と考えられるので，全抵抗係数を次の r_T で表現することにした。

$$r_T=\frac{R_T}{\frac{1}{2}\rho\nabla^{2/3}v^2} \quad \cdots\cdots(1)$$

なお，抵抗試験は1隻の模型船について排水量並びに初期トリムを変化させた最少5状態について実施しているが，これらの各種状態を1つの独立した船型と考えることが出来るので，抵抗試験1状態を1船型とし，後述のように抵抗試験結果を高速沿岸漁船の平均的排水量10 t に相当する全抵抗係数 r_{10} に換算した値を使用することにする。

抵抗試験結果を r_{10} に換算する場合には形状影響係数 (form factor) K を考慮する方法と K を考慮しない方があり，夫々次式であたえられる。

(1) 形状影響係数 K を使用する場合
(3次元解析法)

$$r_{10}=r_{TM}-\frac{S_M}{\nabla_M^{2/3}}\{(C_{FO_M}-C_{FO10})(1+K)-\Delta C_F\} \quad \cdots\cdots(2)$$

(2) 形状影響係数 K を使用しない場合

$$r_{10}=r_{TM}-\frac{S_M}{\nabla_M^{2/3}}\{(C_{FOM}-C_{FO10})-\Delta C_F\} \quad \cdots(3)$$

ここに

$r_{10}=\dfrac{R_{T10}}{\frac{1}{2}\rho_S\nabla_{10}^{2/3}v_{10}^2}$ ……排水量 10 t の実船全抵抗係数

R_{T10}……排水量 10 t の実船の全抵抗 (kg)
ρ_S……海水の密度 (104.6 kg-s²/m⁴)
∇_{10}……排水量 10 t の実船排水容積 (m³)
v_{10}…… 〃 〃 実船速度 (m/s)

$r_{TM}=\dfrac{R_{TM}}{\frac{1}{2}\rho_M\nabla_M^{2/3}v_M^2}$ ……模型船の全抵抗係数

R_{TM}……模型船の全抵抗 (kg)
ρ_M……清水の密度 (kg-s²/m⁴)
∇_M……模型船の排水容積 (m³)
v_M…… 〃 速度 (m/s)
S_M…… 〃 浸水表面積 (m²)
C_{FOM}…… 〃 シエンヘル摩擦抵抗係数
C_{FO10}……排水量 10 t の実船の シエンヘル摩擦抵抗係数
K……形状影響係数
ΔC_F……粗度修正量 (0.4×10^{-3} を使用)

r_{10} 計算に先立って3次元解析法及び2次元解析法のいづれが適切であるかについて検討した。その結果本論文では2次元解析法を採用することとした。

その理由は次の通りである。

(1) 通常の模型抵抗試験に3次元解析を応用する場合 form factor K は低速接線法で決めるのが一般である。今回の高速沿岸漁船の主対象速度領域は last humpより高速側にあり，低速で決められた K が，last hump 後の半滑走状態でも同一の値を保っているか疑問である。

(2) 低速領域において層流影響の認められる模型船も混在し，K の決定が技術的に困難である。

(3) dipping curve に見られるような低速領域と高速領域における船の姿勢が著しく異なること，及び多数の船型の中には浅喫水の偏平な船尾形状が含まれる等の理由から，3次元解析法は高速船型には不適当と思われる。

この解析においては，排水容積 ∇ と同様に，航走時の水線長 L_{WL} 及び浸水表面積 S の実測は困難のため，静止時の L_{WL} 及び S を使用している。

2.1.2 速度排水容積係数 $F_{n\nabla}$

高速沿岸漁船においては，航走時の L_{WL} は速度の変化により著しく変化することが dipping curve からも明らかであり，特に高速領域において半滑走状態となるため L_{WL} は短かくなるのが一般である。従って速度の尺度として静止時の L_{WL} を用いたフルード数 $F_n = v/\sqrt{L_{WL} \cdot g}$ がどれだけの有効な意味を持つか疑問である。

高速船型において高速を得るための条件として船体重量の軽いことが必要とされていることなども併せ考えて L_{WL} の替りに船体重量に対応する静止時排水容積 ∇ の立方根 $\nabla^{1/3}$ を用いた $F_{n\nabla}$ を採用することとした。

$$F_{n\nabla} = \frac{v}{\sqrt{\nabla^{1/3} \cdot g}} \quad \cdots\cdots (4)$$

ここに $F_{n\nabla}$……速度排水容積係数
v……船の速度 (m/s)
∇……排水容積 (m^3)
g……重力の加速度 (≒9.8 m/s)

2.1.3 船型表示のための要目

図3に示すような定義に従って船型各部の寸法及び角度等を測定してデータ収集を行ったが，その内解析に使用した船型要素を組立てている各部の寸法等の定義は次のとおりである。

これらの要目は船型の特徴を巨視的に表示する要目であって，個々の船型そのものを微視的に表わすものではない。つまりこれらをどのように組合せても船体の線図を表現したことにはならないことに注意する必要がある。

L_{WL}……水線長さ (m)
B_C……$L_{WL}/2$ におけるチャイン幅 (外板の外面) (m)
T……$L_{WL}/2$ における外板とキールの接点から WL までの高さ (型喫水) (m)
B_{CT}……トランサムにおけるチャイン幅(外板の外)
T_T……トランサムにおける外板底部から WL までの高さ (トランサム後端の喫水) (m)
α_{BS}……$B_C/4$ の幅を持つバトックラインとトランサム及び $L_{WL}/2$ 断面との交点を結んだ直線が WL とのなす角度 (degree)，符合は WL の平行線に対して仰角を正，俯角を負とする。
A_K……$L_{WL}/2$ におけるキールと外板の接点以下のキール断面積 (m^2)
A……$L_{WL}/2$ におけるキールと外板の接点以上の WL までの断面積 (m^2)
LCB……トランサムから浮心 B までの水平距離であり L_{WL} に対する比 (%)
∇……排水容積 (m^3)

2.2 統計資料

全抵抗係数算定式を作成するに必要な資料として，旧漁船研究室において実施し，蓄積されている抵抗試験結果がある。このうち，ハードチャイン・トランソム船型の抵抗試験は従来型木船を FRP 船を含め約 30 隻あるが，この中から特殊船型や解析用に不適当な船型と判断されたものを除外して，21 隻分の抵抗試験結果を算定式作成用に当てている。

算定式作成に使用した21隻は，昭和30年頃までに実施した和船型「あかつき」系統模型並びに和洋折衷型「ちどり」系統模型を主体とする従来型木造漁船から，昭和45年以降の高速型FRP漁船に移行する経過を包含した船型群である。ただし，木造漁船船型における高速指向船型は含まれていない。21隻の内訳と試験状態数は次のとおりである。

	隻数	試験状態
木船	14	105
FRP 船	7	41
合計	21	146

木造漁船の船型のうち和船型は「あかつき」系統模型に，和洋折衷型は「ちどり」系統に包含されると考えられる。母型「あかつき」の船型を図1に，母型「ちどり」の船型を図2に示す。両系統模型は夫々5隻9状態の抵抗試験を実施しているので，試験状態45，すなわち夫々45船型をもっているが，その代表7船型については，図4に r_{10}-$F_{n\nabla}$ 曲線を，表3に主要寸法，船型要素等を示している。なお，図4には FRP 代表船型を比較対照している。

FRP 漁船7隻のうち，M-92，M-98 及び M-100 の3隻について，線図及び r_{10} $F_{n\nabla}$ 曲線等を図5～図10に，図11には7隻の r_{10} 曲線比較図を，表4には主要寸法，船型要素等を示している。これら7隻については，低速領域5～9状態，高速領域2～6状態の抵抗試験を実施しているが，図11及び表4には夫々代表2～3船型について示している。

2.3 実船全抵抗係数 r_{10} 推定の有効性

有効馬力を推定しようとする場合に，実船の排水量に対応する全抵抗係数 r_{ST} がわかれば有効馬力は容易に求められる。一般には模型船の全抵抗係数 r_{TM} から実船の r_{TS} に換算するには次式による。

$$r_{TS}=r_{TM}-\frac{S_M}{\nabla_M^{2/3}}\{(C_{FOM}-C_{FOS})-\Delta C_F\} \quad \cdots(5)$$

模型船の長さの相異によって排水量には大幅なひらきを生ずるので r_{TM} の変動が大きくなる。従って全抵抗係数算定式を作成するに当っては，全抵抗係数を排水量を一定とした模型船規模の r_{TM} に換算した値を使用するか，あるいは，排水量をある値に定めた実船相当の r_{TS} に換算した値を使用するかの2つの方法がある。

r_{TM} を使用して全抵抗係数算定式を作成した場合には，この r_{TM} で実船の値を比較できないので，r_{TS} に換算して比較する必要がある。

(5)式の右辺第2項の摩擦修正量は，船の長さの増大に伴って増加するため，常に r_{TS} に換算した値で抵抗の大小を判断しなければならない。

今ここに，排水量 10 t に相当する実船全抵抗係数算定式を作成しておけば，排水量 5～35 t（水線長さ 10～15 m に相当する）の船に対しては，(5)式右辺第2項の値は最大 $\pm 1.0\times10^{-3}$ 程度の値となり，これまでに実施された抵抗試験のうち r_{10} の最小値に対して約 ±2.7% に相当し，更に高速領域では約 ±1.5% 以内になるので，排水量 5～35 t（水線長 10～15 m）の漁船については，実船全抵抗係数の大小を r_{10} の値で判断しても実用上問題はない。

排水量 35 t の漁船について，10 t における同一船型の全抵抗係数 r_{10} を用いて全抵抗を推定すれば，僅かに大き目に見積ることになるが，これは安全側である。

以上のように高速沿岸漁船の長さと排水量を包含して全抵抗係数の推定が可能であり，しかも簡単な換算により有効馬力の算定が可能であるため，r_{10} を使用することとした。

2.4 実船全抵抗係数 r_{10} と船型要素の関係

FRP 漁船の船型は従来型の木造漁船に比較すると，低速領域においては一般に r_{10} は高い値を示している。高速を要求される FRP 漁船の船型は，従来型の木造漁船に比較して船尾部チャインラインの高さが低く（α_{BS} が小さい），トランサムの幅が広い（$B_{CT}/\nabla^{1/3}$ が大きい）のが普通であり，高速を得るために箱形となった船尾形状が低速において抵抗増加を招いていると考えられる。その理由は，高速を得るために滑走し易いよう船尾船底形状を偏平にし，ハードチャインの後端に幅の広いトランサムを設けた形状が，大きな渦抵抗を発生しているものと考えられる。従来型木造漁船の r_{10} は低速領域では低い値を示しているが，高速になるに伴い r_{10} が急激に増大し高い hump となることが予想され，これらの木造漁船が建造された当時の速力要求度は last hump 直前までであったことを示している。

図4及び図11に示すように高速型 FRP 漁船の $r_{10}-F_{n\nabla}$ 曲線群は，いずれも $F_{n\nabla}=1.1\sim1.3$ 附近に last hump が現われているが，これを $r_{10}-F_n$ 曲線に表示すれば，$F_n=0.5$ 附近に相当し，船速は $\Delta=10$ t の場合 10～12 kt 附近である。

船型の相異による r_{10} の高低差は，低速領域から last hump 附近までは r_{10} の最低値に対して r_{10} の最高値は約2倍となっているが，高速領域では約1.5倍に減少している。

r_{10} の高低を船型要素 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$，$B_C/\nabla^{1/3}$，L_{WL}/B_C 等で船型を類別して比較すると概略次の2つのグループに分けられる。

a) $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ 及び L_{WL}/B_C が大きく，又 $B_C/\nabla^{1/3}$ が小さい船型は全速度領域にわたって r_{10} が低い。すなわち，このグループは排水量の割合に水線長が長く，いわゆる細長い船型の部類に属している。

b) $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ 及び L_{WL}/B_C が小さく，又 $B_C/\nabla^{1/3}$ が大きい船型は，a) とは反対に全速度領域にわたって r_{10} が高い。すなわち，このグループは排水量の割合に水線長が短く，しかも幅の広い部分に属している。

c) b) の中で高速領域で r_{10} の低くなる船型がある。$L_{WL}/\nabla^{1/3}$，L_{WL}/B_C，$B_C/\nabla^{1/3}$ 等の船型要素は b) に近いが，チャインラインの側面形状は船体中央部から後方が直線的にほぼ水線に平行にのびる α_{BS} の小さい船型である。

2.5 船型要素の選定

2.5.1 船型の変遷と改良

ハードチャイン・トランサム船型である和船型沿岸漁船の高速化のための船型改良は，木造船においても行われた実績があるが，その改良の要点は，船体重量の軽量化と船尾船底の平滑化にあった。

木造和船型漁船の船体構造方式は，天然材から切出した板を縫釘で接いで大板として外板展開した船底外板を，平板型のキールに取付け，それに同様な船側外板を取付け，船首部は船首材に，船尾部はトランサムに取付けられる箱型構造であり，隔壁やビームは変形防止のため後から挿入されるのが本来の型である。

このようにして造られた船型はハードチャイン・トランサム船型であり，偶然にもハードチャイン型高速艇の船型に類似している。

これらの木造和船型漁船の船型改良については，船体重量の軽減に関しては，前述のような構造方式のため既

に洋式構造船に比較して軽量であるため改善の可能性は少かったので，艤装品，搭載物の重量軽減を考慮する必要があった。又，船尾船型の改良については，従来型船型の船尾部約 $L/4$ からトランサム後方にかけて水線に平行な適当な幅のフィンを取付けたもの，あるいは，トランサム後方に船の長さの 10% 前後にも及ぶフラップを取付け，中には可動式としたものなど試行錯誤を重ねて考案された方法が一部の地方で行われていた。

しかし，船尾を船本体として改良することは殆んど行われていなかった*。

これらの改良は，高速化のための船型要素として影響力の大きい $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ を，前者は ∇ を小さくして $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ を大きくし，後者は L_{WL} を長くして $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ を大きくするための改善策である。なお，後者は半滑走のために必要に迫られて滑走面を造成した結果の例である。滑走面が必要であれば，本来船本体の船尾部船型を改良すべきであるが，従来船型のままの新造船にフィンやフラップを取付けることが流行したので，新造船には船尾船型に滑走面を造る船型の技術指導を実施した経緯がある。

しかるに，FRP 漁船の普及に伴い，その船体重量が木造船に比較して約 30% 軽減されることが判明している。FRP 化による船体重量の軽量化と搭載主機関の軽量小型化が進むに従って高速化が促進され，船型の改良と相俟って現状では $F_n=1.0$（$F_{n\nabla}=2.4$）を越す高速漁船が出現している。

FRP 漁船の船型改良は，図1に示すように，船尾船底の面積を表現する $B_{CT}/\nabla^{1/3}$ 及び $B_C/\nabla^{1/3}$ と滑走時の水面に対する船の姿勢すなわち航走時の dipping を支配する船尾船底の平均的迎角を表現する α_{BS}，及び適切な滑走面を維持するに必要な船の重心位置として静止時の浮心位置 LCB などの改善が行われた。

2.5.2　高速域用船型要素

速度領域は last hump を境界として $F_{n\nabla}=1.2$（$F_n\fallingdotseq 0.5$）以下を低速域，以上を高速域と呼ぶことにする。FRP 漁船の高速化のための船型改良は前記のような観点から逐次行われて来たので，高速域の全抵抗係数を推定するための船型要素としては $L_{WL}/\nabla^{1/3}$，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$，LCB，α_{BS} の4種類が適当と判断される。

last hump を超えた直後の $F_{n\nabla}$ においては，低速域において抵抗に及ぼす影響の大きい船型要素の影響も持続されることが考えられるが，解析用データ数と実船全抵抗係数 r_{10} の算定式の精度を勘案し，次章で r_{10} 算定式作成のために種々検討した結果，高速域用船型要素を次のように決定した。

速度領域　$F_{n\nabla}=1.2\sim2.1$（$F_n\fallingdotseq 0.5\sim0.9$）

船型要素　$L_{WL}/\nabla^{1/3}$，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$，LCB，α_{BS}（4種類）

2.5.3　低速域用船型要素

丸型フレームライン船型については，$F_{n\nabla}=0.45\sim0.80$（$F_n=0.20\sim0.35$）の範囲内において，文献〔1〕に示される排水量 300 t 相当の実船全抵抗係数 r_{300} 算定式がある。これを使用し諸船型要素の抵抗への影響を検討すると，$L_{WL}/\nabla^{1/3}$，C_P，C_M，LCB，$\frac{1}{2}\alpha_E$，B/T 等が抵抗値に影響を及ぼすことがわかる。

しかし，$F_{n\nabla}=1.2$（$F_n=0.5$）までの速度領域に対応する船型要素を考えるには，高速域用船型要素にハードチャイン船型の低速域における特性を表現し得る船型要素を追加するという高速域からのアプローチが合理的と思われる。

具体的には，a）船尾トランサム部の喫水の大小が渦の発生の多少に関係が強いので，$T_T/\nabla^{1/3}$ を，b）低速排水量型船型で影響度の大きな B_C/T 及び C_P を，c）この種類の沿岸漁船で，時に非常に大きなスケグの付くものがあり，この影響を考慮して A_K/A を追加する。実際には次章に述べるよう8船型要素とした。

ここに A_K とは $L_{WL}/2$ におけるボックスキールと外板の接点以下のボックスキールの断面積であり，A とは $L_{WL}/2$ におけるボックスキールの断面積を含まない主船体の WL までの断面積である（図3参照）。

なお，低速排水量型船型において影響度の大きいことが知られている $\frac{1}{2}\alpha_E$ は，ハードチャイン船型に関しては水線形状がチャイン部において不連続となり，チャイン影響の方が遙かに大きいと思われるので使用しないことにした。

以上低速域用船型要素として検討した結果をまとめると次のようになる。（実際には次章の算定式作成の過程で船型要素の取捨選択を行っている。ここでは単に結果のみを示す。）

速度領域　$F_{n\nabla}=0.7\sim1.2$（$F_n\fallingdotseq 0.3\sim0.5$）

船型要素　$L_{WL}/\nabla^{1/3}$，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$，$T_T/\nabla^{1/3}$，B_C/T，C_P，LCB，α_{BS}，A_K/A（8種類）

2.5.4　従来船型との速度領域の比較

(1)　木造小型漁船との比較

従来型の木造小型漁船ならびに高速 FRP 漁船の抵抗試験を実施した $F_{n\nabla}$ の上限値と船型要素の一つを選んで $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ との関係を図12に示している。従来型の木造漁船は $F_{n\nabla}=1.3$ 程度が実用面上の限界であったことが伺える。木造漁船でも更に高速を要求されて改良さ

* 本論文が目指す改良とは異なる意見の一般的な改良である。

れた船型も存在したが，抵抗試験は実施されていない。FRP 漁船についても開発当初には従来型木船と殆んど変らない船型が存在したが，同図に示すように抵抗試験を実施した船型では，$F_{n\nabla}=1.4$ 以上となっている。

(2)　排水量型船型との比較

丸型フレームライン形状を持つ排水量型漁船船型については，文献[1]に示されているように実船全抵抗係数 r_{s00} 算定式（土屋の式）がある。これによると速度領域は $F_{n\nabla}=0.45\sim0.80$ の範囲にあり，船型要素としては $L_{WL}/\nabla^{1/3}$, B/T, C_M, C_P, LCB, $\frac{1}{2}\alpha_E$, $\frac{1}{2}\alpha_R$, α_{BS}, t/L, $a/a_{\max}$ 等を使用している。

これに対して今回作成する全抵抗係数 r_{10} 算定式は，ハードチャイン・トランサム船型用であり，速度範囲は $F_{n\nabla}=0.7\sim2.1$ に広がっている。排水量型船型よりも遙かに高速領域を目標とする。この広い速度領域を一つの r_{10} 算定式にまとめ抵抗を推定することは極めて困難なため，既に述べたように，last hump ($F_{n\nabla}\fallingdotseq1.2$) を境界として低速域と高速域に分けて r_{10} 算定式を作製することにした。

図 13 には丸型フレームライン排水量型船型とハードチャイン・トランサム型船型の抵抗試験結果からみた速度領域の相違を示している。

前者（丸型フレームライン船型，太線で示す）の速度領域は $F_{n\nabla}=0.8$ 近傍を上限としているのに対して本研究の対象となっている後者（ハードチャイン・トランサム船型，細線で示す）の速度領域は $F_{n\nabla}=0.7$ 以下の図示していない領域を含め高速域にまで拡大して $F_{n\nabla}=2.0$ 近傍にまで達している。

本論文の対象とする速度領域はハードチャイン・トランサム船型について $F_{n\nabla}=0.7\sim2.1$ の領域である。

3.　実船全抵抗係数算定式

3.1　重回帰分析

高速型漁船のある $F_{n\nabla}$ における全抵抗係数 r_{TS} は船型要素 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$, $B_{CT}/\nabla^{1/3}$, LCB, α_{BS} 等の影響を受けて変動すると仮定すると，

$$r_{TS}=f(L_{WL}/\nabla^{1/3},\ B_{CT}/\nabla^{1/3},\ LCB,\ \alpha_{BS}\cdots\cdots)$$

と表現することが出来る。

今これを一般的に目的変形（従属変数）r_{TS} の変動を説明する説明変数（独立変数）として $L_{WL}/\nabla^{1/3}$, $B_{CT}/\nabla^{1/3}$, LCB, α_{BS} 等の任意の船型要素を考えるとき，その影響が多項式の関係で表わされるとすれば，

$$\begin{aligned}r_{TS}=&\beta_0+\beta_1(L_{WL}/\nabla^{1/3})+\beta_2(B_{CT}/\nabla^{1/3})\\&+\beta_3(LCB)+\beta_4(\alpha_{BS})+\beta_5(L_{WL}/\nabla^{1/3})^2\\&+\beta_6(B_{CT}/\nabla^{1/3})^2+\beta_7(LCB)^2+\beta_8(\alpha_{BS})^2\\&+\beta_9(L_{WL}/\nabla^{1/3})(\beta_{CT}/\nabla^{1/3})\\&+\beta_{10}(L_{WL}/\nabla^{1/3})(LCB)+\cdots\cdots+\varepsilon\end{aligned}\quad\cdots\cdots(6)$$

(6) 式をさらに一般化すると

$$\begin{aligned}y=&\beta_0+\beta_1x_1+\beta_2x_2+\beta_3x_3+\beta_4x_4\\&+\beta_5x_5+\beta_6x_6+\beta_7x_7+\beta_8x_8+\beta_9x_9\\&+\beta_{10}x_{10}+\cdots\cdots+\beta_Px_P+\varepsilon\end{aligned}\quad\cdots\cdots(7)$$

で表わされる。ここに x_P はパラメータであり，ε は誤差といわれる偶発的な要因による変動量を表わしている。

このような回帰モデルに n 個の測定データをあてはめて，n 個の一次式が得られる。

$$\begin{aligned}y_\alpha=&\beta_0+\beta_1x_{1\alpha}+\beta_2x_{2\alpha}+\beta_3x_{3\alpha}+\cdots\cdots\\&+\beta_Px_{P\alpha}+\varepsilon_\alpha\quad(\alpha=1,\ 2,\ \cdots,\ n)\end{aligned}\quad\cdots\cdots(8)$$

ここに誤差 ε_α は互に独立で平均値 0，分数 σ^2 の正規分布 $N(0,\ \sigma^2)$ に従う変量とする。

ここで次式に示される $\{\beta_i\}$ の推定値 $\{b_i\}$ を用いて y を推定した時に生ずる残差平方和 Q,

$$\begin{aligned}Q=&\sum_{\alpha=1}^{n}\varepsilon_\alpha{}^2\\=&\sum_{\alpha=1}^{n}(y_\alpha-b_0-b_1x_{1\alpha}-b_2x_{2\alpha}\cdots-b_Px_{P\alpha})^2\end{aligned}\quad\cdots(9)$$

を最小にするよう最小2乗法を用いて $\{\beta_i\}$ の推定値 b_0, b_1, b_2, b_3, …, b_P に関する方程式（正規方程式）を導き，これを解いて次の重回帰式が得られる。

$$\begin{aligned}Y_\alpha=&b_0+b_1x_{1\alpha}+b_2x_{2\alpha}+b_3x_{3\alpha}+\cdots\cdots+b_Px_{P\alpha}\\&(\alpha=1,\ 2,\ \cdots,\ n)\end{aligned}\quad\cdots\cdots(10)$$

ここに b_0 は回帰定数，b, b_2, b_3, …, b_P は偏回帰係数と呼ばれる。

(10) 式について，データをはじめから平均値 0，分数が 1 になるよう基準化しておくと，n 組のデータについて y および $x_{i\alpha}$ の標準偏差は次式で表わされる。

$$\sigma_y=\sqrt{S_{yy}/(n-1)},\quad \sigma_i=\sqrt{S_{ii}/(n-1)}\quad\cdots\cdots(11)$$

ここに　σ_y……変数 y の標準偏差

S_{yy}……変数 y の偏差平方和

σ_i……変数 x の標準偏差

S_{ii}……変数 x の偏差平方和

n……データの組数

従って変数は

$$y'_\alpha=(y_\alpha-\bar{y})/\sigma_y,\quad x'_{i\alpha}=(x_{i\alpha}-\bar{x}_i)/\sigma_i\quad\cdots\cdots(12)$$

のように基準化される。

ここに　y'_α……変数 y_α を基準化した値

$\bar{y}$……変数 y_α の平均値

$x'_{i\alpha}$……変数 $x_{i\alpha}$ を基準化した値

$\bar{x}_i$……変数 $x_{i\alpha}$ の平均値

そしてこれを変数とした時の重回帰方程式は

$$\hat{Y}'_\alpha = \sigma_0 + a_1 x'_{1\alpha} + a_2 x'_{2\alpha} + a_3 x'_{3\alpha} + \cdots\cdots + a_P x'_{P\alpha} \quad (n=1,\ 2,\ \cdots,\ n) \cdots\cdots (13)$$

であたえられる。この a_i を標準偏回帰係数と呼んでいる。この a_i は各説明変数の変化により目的変数 $\hat{Y}'_\alpha$ にどのような影響をあたえているかを見るのに便利である。

(13)式に従って，F_{nF} 毎の全抵抗係数 r_{TS} を各船型要素を使用して次の回帰モデルについて解析を進めた。

$$Y_\alpha = a_0 + a_1 X_{1\alpha} + a_2 X_{2\alpha} + a_3 X_{3\alpha} + \cdots\cdots + a_P X_{P\alpha} \quad (\alpha=1,\ 2,\ \cdots,\ n) \cdots\cdots (14)$$

(14)式中の $X_{i\alpha}$ は $x_{i\alpha}$ の値の平均値 $\bar{x}_i$ により基準化した値であり次式で表わされる。

$$X_{i\alpha} = \frac{x_{i\alpha} - \bar{x}_i}{\sigma_i} \times k \quad \cdots\cdots (15)$$

ここに

$$\sigma_i = \sqrt{\sum_{i=1}^{n} (x_{i\alpha} - \bar{x}_i)^2 / (n-1)} \quad \cdots\cdots 標準偏差$$

$\bar{x}_i$ ……$x_{i\alpha}$ の平均値

k ……$X_{i\alpha}$ のオーダを揃える調整係数

ただし，(13)式の目的変形は厳密には(13)式の基準化した $\hat{Y}'_\alpha$ を使用すべきであるが，この回帰モデルの場合には F_{nF} 毎の各船型の全抵抗係数 r_{TS} により推定した値が $\hat{Y}_\alpha$ に相当し，各船相互の r_{TS} は同一オーダーの値であるためこれを更に基準化して $\hat{Y}'_\alpha$ を求める必要はないので，$Y_{\alpha}{}'_{\alpha}$ は基準化していない。

3.2　算定式の内容

3.2.1　全抵抗係数 r_{10} の回帰方程式

r_{10} の回帰方程式の設定方法については，いろいろな形が考えられる。例えば，8変数の1次項，2次項，2次の相関項をとることも考えられ，フーリエ級数その他種々の式が考えられる。しかし，数値計算処理及び従来この方面で有効な計算がなされている七屋の式などを考えると，多項式で2次の項までとったものが予備調査の結果適していることがわかった。

従って本論文では以下にのべる式を用いることとした。ただし，低速領域と高速領域では抵抗の特性が本質的に異るため速度領域によって(16)式（$F_{nF}=0.7\sim1.2$）と(17)式（$F_{nF}=1.2\sim2.1$）に分けることとした。

(16)式については，当初は8変数の1次項，2次項，2次の相関項（2変数の積の組合せ）を考え，3次項は除外した。2次の相関項の組合せでは，抵抗試験結果から影響度が大きいと考えられる順に船型要素 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$，$T_T/\nabla^{1/3}$，C_P，LCB 等を選び，組合わせた。ただし，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$ と B_C/T の相関は強かったので B_C/T を除外した。この結果(16)式を採用することとした。

(17)式については，4変数 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$，LCB，α_{BS} の1次項，2次項，2次の相関項のすべてを考えた。

(1)　低速領域用（$F_{nF}=0.7\sim1.2$）

$$r_{10}\times100 = a_0 + a_1X_1 + a_2X_2 + a_3X_3 + a_4X_4 + a_5X_5 + a_6X_6 + a_7X_7 + a_8X_8 + a_9X_9 + \cdots\cdots + a_{35}X_{35} \quad \cdots\cdots (16)$$

ここに

$$X_1 = XLPVOL = \frac{L_{WL}/\nabla^{1/3} - \overline{L_{WL}/\nabla^{1/3}}}{\sigma_1} \times k$$

$$X_2 = BCTVOL = \frac{B_{CL}/\nabla^{1/3} - \overline{B_{CT}/\nabla^{1/3}}}{\sigma_2} \times k$$

$$X_3 = TTPVOL = \frac{T_T/\nabla^{1/3} - \overline{T_T/\nabla^{1/3}}}{\sigma_3} \times k$$

$$X_4 = BCPT = \frac{B_C/T - \overline{B_C/T}}{\sigma_4} \times k$$

$$X_5 = CP = \frac{C_P - \overline{C_P}}{\sigma_5} \times k$$

$$X_6 = XLCB = \frac{LCB - \overline{LCB}}{\sigma_6} \times k$$

$$X_7 = ALFBS = \frac{\alpha_{BS} - \overline{\alpha_{BS}}}{\sigma_7} \times k$$

$$X_8 = AKPA = \frac{A_K/A - \overline{A_K/A}}{\sigma_8} = k$$

$X_9 = X_1^2$　　$X_{23} = X_1 \times X_8$
$X_{10} = X_2^2$　　$X_{24} = X_2 \times X_3$
$X_{11} = X_3^2$　　$X_{25} = X_2 \times X_5$
$X_{12} = X_4^2$　　$X_{26} = X_2 \times X_6$
$X_{13} = X_5^2$　　$X_{27} = X_2 \times X_7$
$X_{14} = X_6^2$　　$X_{28} = X_2 \times X_8$
$X_{15} = X_7^2$　　$X_{29} = X_3 \times X_5$
$X_{16} = X_8^2$　　$X_{30} = X_3 \times X_6$
$X_{17} = X^1 \times X_2$　　$X_{31} = X_3 \times X_7$
$X_{18} = X^1 \times X_3$　　$X_{32} = X_3 \times X_8$
$X_{19} = X_1 \times X_4$　　$X_{33} = X_5 \times X_6$
$X_{20} = X_1 \times X_5$　　$X_{34} = X_5 \times X_7$
$X_{21} = X_1 \times X_6$　　$X_{35} = X_6 \times X_7$
$X_{22} = X_1 \times X_7$

○ $\overline{L_{WL}/\nabla^{1/3}}$，$\overline{B_{CT}/\nabla^{1/3}}$，$\overline{T_T/\nabla^{1/3}}$，$\overline{B_C/T}$，$\overline{C_P}$，$\overline{LCB}$，$\alpha_{BS}$，及び $\overline{A_K/A}$ は夫々の船型要素の平均値を示している（表5）。

○ σ_1，σ_2，σ_2，…，σ_8 は夫々の船型要素の標準偏差である（表5）。

○ 解の収斂性を考慮して $k=0.1$ とした。

(2) 高速領域用 ($F_{n\nabla}=1.2\sim2.1$)

$$r_{10}\times100=a_0+a_1X_1+a_2X_2+a_3X_3+a_4X_4+a_5X_5+\cdots\cdots+a_{14}X_{14} \quad \cdots\cdots(17)$$

ここに

$$X_1=XLPVOL=\frac{L_{WL}/\nabla^{1/3}-\overline{L_{WL}/\nabla^{1/3}}}{\sigma_1}\times k$$

$$X_2=BCTVOL=\frac{B_{CT}/\nabla^{1/3}-\overline{B_{CT}/\nabla^{1/3}}}{\sigma_2}\times k$$

$$X_3=XLCB=\frac{LCB-\overline{LCB}}{\sigma_3}\times k$$

$$X_4=ALFBS=\frac{\alpha_{BS}-\overline{\alpha_{BS}}}{\sigma_4}\times k$$

$X_5=X_1^2$　　$X_{11}=X_1\times X_4$

$X_6=X_2^2$　　$X_{12}=X_2\times X_3$

$X_7=X_3^2$　　$X_{13}=X_2\times X_4$

$X_8=X_4^2$　　$X_{14}=X_3\times X_4$

$X_9=X_1\times X_2$

$X_{10}=X_1\times X_3$

○ $L_{WL}/\nabla^{1/3}$, $B_{CT}/\nabla^{1/3}$, $\overline{LCB}$ 及び $\overline{\alpha_{BS}}$ は夫々の船型要素の平均値を示している（表5）。

○ σ_1, σ_2, σ_3 及び σ_4 は夫々の船型要素の標準偏差である（表5）。

○ 解の収斂性を考慮して $k=0.1$ とした。

3.2.2 回帰定数ならびに偏回帰係数

$F_{n\nabla}=0.7\sim1.2$ の回帰定数ならびに偏回帰係数を表6に示す。

同様に $F_{n\nabla}=1.2\sim2.1$ の回帰定数ならびに偏回帰係数を表7に示す。

3.2.3 有効馬力算定式

任意の船型要素を持つ実船の排水量 10 t に相当する全抵抗係数 r_{10} は (16) 式及び (17) 式から算出されるが，排水量が 10 t 以外の任意の排水量を持つ実船の全抵抗係数 r_{TS} は次式であたえられる。

$$r_{TS}=r_{10}-\frac{S_S}{\nabla_S^{2/3}}\{(C_{F10}-C_{FS})-\Delta C_F\} \quad \cdots\cdots(18)$$

ここに

r_{TS}……実船の全抵抗係数

S_S……実船の浸水表面積（m^2）

∇_S……実船の排水容積（m^3）

C_{F10}……排水量 10 t の船の摩擦抵抗係数

C_{FS}……実船の摩擦抵抗係数

ΔC_F……粗度修正量

いま排水量 10 t の船から任意の実船に換算する際には ΔC_F は考慮しないとすれば次式が得られる。

$$r_{TS}=r_{10}-\frac{S_S}{\nabla_S^{2/3}}(C_{F10}-C_{FS}) \quad \cdots\cdots(19)$$

右辺第2項は摩擦修正量であり，C_{FS} は実船レイノルズ数 R_{ns} より求めるが，C_{F10} は次式に示す排水量 10 t の船の R_{n10} より求める。

$$R_{n10}=R_{ns}\times\lambda^{-3/2} \quad \cdots\cdots(20)$$

ここに

$$\lambda=\left(\frac{\nabla_S\times1.025}{10}\right)^{1/3}$$……縮率又は拡大率

なお，浸水表面積が不明の場合は次の近似式[10]を使用することができる。

$$S'=L_{WL}B_C(C_B+0.700)\left(0.727+1.062\frac{T}{B_C}\right) \quad \cdots(21)$$

ここに

S'……裸殻の浸水表面積（m^2）

B_C……外板を含むチャイン幅（m）

T……$L_{WL}/2$ におけるキール上面からの喫水（m）

$C_B\fallingdotseq\frac{\nabla-\delta\nabla}{L_{WL}B_CT}$……方形係数

$\delta\nabla$……ベースラインから下方の排水容積（m^3）

従って副部付浸水表面積 S は副部浸水表面積 δS を加算して求めることが出来る。

$$S=S'+\delta S \quad \cdots\cdots(22)$$

若し，副部浸水表面積が不明の場合には

$$S=S'\times(1+\alpha) \quad (\alpha=0.05\sim0.10) \quad \cdots\cdots(23)$$

程度の補正が必要と思われる。

(19) 式において，この解析に使用した排水量 10 t の各船型の水線長は 10.3～15.2 m の範囲に分布しているが，一般に漁船ではこの範囲の長さに相当する排水量は 5～50 t であり，右辺第2項（　）内絶対値がこの水線長の範囲の船に対して最大になるのは，低 $F_{n\nabla}$ の場合であって $|0.8\times10^{-4}|$ 程度の値となり，$S/\nabla^{2/3}$ の値は 6.5～12.3 の範囲に分布している。従って右辺第2項の値は最大で $|1.0\times10^{-3}|$ となり r_{10} の最小値 0.036 に対して約 2.7% となる。しかも高 $F_{n\nabla}$ 領域においては 1.5% 以内に納まっている。

以上のことから，水線長 10～15 m の船については後述する (16) 式及び (17) 式の精度からみて，(19) 式の右辺第2項を削除し，

$$r_{TS}\fallingdotseq r_{10} \quad \cdots\cdots(24)$$

としても実用上差し支えないと考えられる。

(19) 式並びに (24) 式を使用して有効馬力 EHP は次の式により求めることが出来る。

$$EHP=\frac{R_{TS}\times v_S}{75}-21.39\times r_{TS}\nabla^{\frac{1}{6}}F_n^3 \quad \cdots\cdots(25)$$

又，船の速度は，

$$v_S = 3.1305 \times F_{n\nabla} \nabla^{1/6} \quad (\mathrm{m/s}) \quad \cdots\cdots(26)$$

$$V_S = 6.086 \times F_{n\nabla} \nabla^{1/6} \quad (\mathrm{kt}) \quad \cdots\cdots(27)$$

軸馬力 SHP は推進係数を PC とすると，

$$\mathrm{SHP} = \mathrm{EHP}/\mathrm{PC} \cdots\cdots(28)$$

で表わされるが，これについては後述する。

3.3　算定式の適用範囲

$F_{n\nabla}=0.7\sim1.2$ の低速域用の r_{10} 算定式 (16) 式に使用した船型要素のデータ数は 146 組であり，$F_{n\nabla}=1.2\sim2.1$ の高速域用の r_{10} 算定式 (17) 式に使用したデータ数は 56 組である。

これらの船型要素の 2 次元的な分布の状況は図 14-1～図 14-12, 図 15-1～図 15-6 に示している。すでに表 5 には各船型要素の平均値及び標準偏差 σ を示している。

算定式作成の過程では $\pm2\sigma$ を超えるデータを識別できるようにしたが，演算では全データを使用している。図中には目視により各船型要素について，ほぼ $\pm2\sigma$ の枠を設定し，更に矩形枠の中からデータの殆んどない隅の部分については，これを除外した。これらの図中の枠外の船型要素を使用して行った算定式による算定値の精度は保証出来ないので注意が必要である。

使用可能な速力の範囲はは図　　に示すように低速域用算定式については $F_{n\nabla}=0.7\sim1.2$ の範囲に，又，高速域用算定式については $F_{n\nabla}=1.2\sim2.1$ の範囲に夫々限定される。

3.4　算定式の精度

全抵抗係数算定式（重回帰式）の有効性を判断する尺度として，回帰分析結果の中から重相関係数 R 並びに (16) 式及び (17) 式により求めた推定値 $\hat{Y}_\alpha$ と測定値 y_α との差 ε を次の式で表わし，

$$|\varepsilon| = \frac{y_\alpha - \hat{Y}_\alpha}{y_\alpha} \times 100 \ (\%) \quad \cdots\cdots(29)$$

各 $F_{n\nabla}$ 毎のデータの中に現われる $|\varepsilon|$ の頻度分布によって推定精度を判断するため，その内容を表 8 に示している。

重相関係数 R は次の式で表わされる。

$$R^2 = 1 - \frac{S_e}{S_T} \quad \cdots\cdots(30)$$

ここに S_e は重回帰式による推定値 $\hat{Y}_\alpha$ と測定値 y_α との間に生ずる残存平方和 $\sum_\alpha (y_\alpha - \hat{Y}_\alpha)^2$ であり，S_T は全平方和 $\sum_\alpha (y_\alpha - \bar{y})^2$ であるから (30) 式は，

$$R^2 = 1 - \frac{\sum_\alpha (y_\alpha - \hat{Y}_\alpha)^2}{\sum_\alpha (y_\alpha - \bar{y})^2} \quad \cdots\cdots(31)$$

となり，$\sum_\alpha (y_\alpha - \hat{Y}_\alpha)^2$ が $\sum_\alpha (y_\alpha - \bar{y})^2$ に比べて小さいほど回帰式の精度は高く，R^2 が 1 に近づくほど推定精度が高いことを示している。R^2 を寄与率又は決定係数と呼ぶ。

表中の重相関係数は自由度を修正した値を下段に示している。両算定式による推定値は $F_{n\nabla}=1.1\sim1.2$ の last hump 附近において推定精度が若干劣ることが伺える。その原因は不明であるが，標本データの r_{10} のばらつきがこの $F_{n\nabla}$ 領域において大きいためと思われる。又，$F_{n\nabla}=1.6$ の推定精度が若干低い。

推定誤差 $|\varepsilon|$ の頻度分布については，$|\varepsilon|$ が 5% 以下の範囲に入るものは低速域の $F_{n\nabla}=0.7\sim0.8$ を除いて全データの 50% であり，$F_{n\nabla}=1.3$ 以上ではほぼ 60% がこの範囲に入っている。又，$|\varepsilon|$ が 7.5% 以下の範囲に入るものは $F_{n\nabla}=1.0$ 以下を除いて全データの 70% 以上に及び，更に $|\varepsilon|$ が 10% 以下までを考えると全 $F_{n\nabla}$ にわたって全データの 70% 以上がこの範囲に含まれることを示している。

3.5　算定式使用上の注意事項

沿岸漁船の中には高速の要求度が強いものが多く，現実に高速沿岸漁船が多数建造されているが，このような船型に使用出来る有効馬力推定図表がなかったため，試行錯誤を重ねて船型が決定されているのが実情である。

従って，この算定式は今後多くの沿岸漁船の設計に使用されるものと推測される。しかし，この算定式はある制約や条件の範囲内で作られたものであるため，その制約や条件を忠実に守って使用しなければ大きな推定誤差を生ずるおそれがあるので注意事項を以下に例挙する。

3.5.1　船　型

この算定式を作成するために使用した船型は，従来型の和船型並びにこれから派生して高速型となったハードチャイン・トランサム船型及び和洋折衷型並びにこれから派生したハードチャイン・トランサム・スケグ付船型が含まれている。和洋折衷型では船首部が若干丸型のものも含まれているが，丸型高速船型，丸型排水量型船型並びにその他の特殊船型については，この算定式の適用は出来ない。その理由は，たとえ船型要素が合っていても細部要素による変化があり，線図が異なるからである。

3.5.2　船型要素

この算定式に使用する船型要素は 2.1.3 及び図 3 に示

している定義に従った値を使用する必要がある。特に船の長さは水線長 L_{WL} を使用している点に注意する必要があり，通常設計用に使用している登録長では，$L_{WL}/\nabla^{1/3}$ 及び LCB の値に 10% 以上の相違を生ずる。幅は登録幅 B を使用すると船側外板が傾斜している船型では誤差を生ずることがあるので，原則としてチャイン幅を使用する。

スケグ付船型については，原則としてスケグを副部として取扱っているので，$L_{WL}/\nabla^{1/3}$，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$，$T_T/\nabla^{1/3}$ 等と排水容積 ∇ の中にはスケグの容積（$\delta\nabla$）を含めているが，C_P を求める際には $\delta\nabla$ を除外し，横断面積 A も型喫水に相当する値としている。

$$C_P=\frac{\nabla-\delta\nabla}{L_{WL}\times A}$$

LCB は静止時のトランサムから浮心までの距離すなわちトランサムから船の重心の位置までの距離を示している。

3.5.3　船型要素の使用限界

図 14～15 に示す船型要素の分布図に照らして，同式を使用する場合に船型要素の 1 個でも外れている場合は，r_{10} の算定値に誤差を生ずることが考えられるので，その結果の取扱いには充分な配慮が必要である。

3.5.4　拡大利用

算定式は標本となる船型要素並びにそれに対応する計測値を使用して求めた重回帰式であるため，算定式の利用は標本の存在する範囲で行うのが原則であるが，船型要素を標本の周辺の極く近い部分に拡大して考える場合には，算定値が急激な変動をすることは考えられないので，前記の注意事項を念頭におきながら使用する限りにおいては，多少の使用範囲をこえる拡大利用は可能である。

3.5.5　水槽試験結果の利用

算定式による有効馬力を船の建造契約時の速力推定のために使用することには，算定式が主要目のみで求めるという性格上かなり無理があり，速力を保障し得るものではない。

ただし，設計時に船型相互の計算値による相対比較をする場合には，信頼出来る精度が期待出来るので，最適船型を選出するためには適している。

正確な有効馬力の値が必要な場合には，水槽における模型船の抵抗試験により求めることが最も望ましい。若し，水槽試験が困難な場合であっても，その設計船型と類似な船型の抵抗試験結果が手元にある場合には，その試験結果を算定式による計算値との差を考慮しながら設計船型の計算値を修正すれば，比較的精度のよい有効馬力が推定可能である。

3.6　算定式と実験結果の比較例

解析に使用した模型船の抵抗試験結果の標本数 143 の中から，r_{10} 算定式による EHP と水槽実験より求めた EHP の比較を 16 例について図 17-1～図 17-16 に示した。

各状態共に任意の排水量における実測 EHP と，$r_S\fallingdotseq r_{10}$ と仮定し r_{10} を使用して任意の排水量に対して求めた EHP との比較である。低速用 14 船型については低速域用の算定式 (16) 式により，高速用 16 船型については，低速域は算定式 (16) 式により高速域は高速用算定式 (17) 式を使用している。

全般的に計算値と実験値はかなり良く一致しているが特異なものについて以下に述べる。

図 17-4 (M-24-5) は $F_{n\nabla}=0.7\sim1.2$ の全域にわたり計算値が高く，$F_{n\nabla}=0.9$ においては約 1.8% 高い。この船型は和船型系統模型のうち，rise of floor を高くしたシリーズの中の 1 船型であり，このシリーズグループは実験値が相対的に計算値よりも低いが，本船型については (16) 式の説明変数では抵抗特性を説明しきれていないことが考えられる。

図 17-5 (M-19 2) 及び図 17-9 (M-27-5) では $F_{n\nabla}=1.2$ の (16) 式による計算値は低過ぎるが，(17) 式による計算値は妥当な値である。

図 17-10 (M-86-5) において $F_{n\nabla}=1.2$ における (16) 式及び (17) 式による計算値の差を生じているが約 4% である。

図 17-11 (M-88-5) については，本船の実験状態が大型滑り (false keel) 2 条，プロペラ軸，プロペラ上下装置，舵等の全副部付であり，実験値が計算値よりも高目となっている。同状態における裸殻の実験値は同図に示す EHP よりも $F_{n\nabla}=1.2\sim1.3$ において 13%，$F_{n\nabla}=1.5\sim1.7$ において 16～17% 低い値を示しているので，この計算値もほぼ妥当であろう。

図 17-12 (M-90-5) の $F_{n\nabla}=1.2\sim1.5$ の計算値は逆に約 7% 高い。

3.7　考　察

3.7.1　速度領域による算定式の採用

$F_{n\nabla}=1.2$ 以下の水槽試験データの内容は，従来型の低速域用の木造和船型並びに木造和洋折衷型漁船の船型によるデータが主要部分を占め，これに FRP 化による新しい高速船型の低速域のデータが加ったものである。図 4 及び図 11 に示すように前者の低速域用船型の低速

域は r_{10} が非常に低いが，その高速域の r_{10} は急激に高い傾向を示しているのに対して，後者の高速域用船型は滑走面を造成するため船尾部が偏平な箱型をしているので，その低速域の r_{10} は極めて高い値を示している。

従って，解析に使用したデータ数は多いが r_{10} 曲線のばらつきが大きく，その結果として8船型要素，35説明変数の全抵抗係数算定式の推定値も精度は若干不足している。

高速域については，高速船型の抵抗試験データしかなく，データ数も少いが，これらの船型は比較的高速用に設計されたものか，あるいは高速用に限定されているため，スケグ付並びにスケグなしの船型が混在してはいるが，それらの主船体は比較的類似している。

従って，高速域の r_{10} 曲線のばらつきは比較的少いため，4船型要素，14説明変数の全抵抗係数算定式の推定値は比較的精度は高くなっている。

ただし，last hump 周辺の $F_{n\nabla}$ においては，何れの算定式を使用しても精度が若干劣る結果となっているが，その原因は抵抗試験時の船の姿勢が比較的不安定な状態にあり，曳航方法等にも起因すると考えられる不安定現象の発生しやすい速度領域であるため抵抗測定値のばらつきのためと思われる。

3.7.2　船型要素の抵抗への影響度

(1)　偏回帰係数の有意性

得られた全抵抗係数 r_{10} の重回帰式 (16) 式及び (17) 式の偏回帰係数が r_{10} の推定のために寄与している度合，すなわち有意性の検定は次のように行われる。

回帰計算時に求まる逆行列 C の主対角要素を C_{ii} とおくと，回帰定数 b_0，偏回帰係数 b_i ($i=1, 2, \cdots, p$) の分散 $V(b_i)$ ($i=0, 1, 2, \cdots$) は $C_{ii}\sigma^2$ であり，$\sqrt{V(b_i)}$ の推定値を $\hat{\sigma}(b_i)$ とおくと，

$$\hat{\sigma}(b_i)=\sqrt{C_{ii}V_e}$$

ここに残差分散 V_e は誤差分散 σ^2 の推定値として

$$V_e=S_e/(n-p-1)$$

で求められる。S_e は残差平方和，$f=n-p-1$ は自由度である。

従って b_i の検定は，

$$t(i)=(b_i-\beta_i)/\hat{\sigma}(b_i)$$
$$=(b_i-\beta_i)/\sqrt{C_{ii}V_e} \quad \cdots\cdots (32)$$

が自由度 $f=n-p-1$ で t-分布することを用いて行なうことができる。

これは x_i 以外の $p-1$ 個の説明変数が存在するという条件の下で，x_i を説明変数として加えることに意義があるか否かを問うものである。

図9に (16) 式及び (17) 式の偏回帰係数の $t(\alpha)$ を表にして示している。なお，同表には，各 $F_{n\nabla}$ 毎のデータ数 n に対する自由度 f について t 表から信頼係数 α が1% 及び5% に対応する $t(1)$ 及び $t(5)$ を示している。例えば $F_{n\nabla}=0.7$ においては $t(1)=2.617$ であり，$|t(\alpha)|$ がこの値以上の説明変数に対する偏回帰係数は有意水準1% で有意であることがわかる。又，$t(5)=1.980$ であり，同じく $|t(\alpha)|$ がこの値以上の説明変数に対する偏回帰係数は有意水準 5% で有意であることを示している。

これらのことから $|t(\alpha)|$ が 2.0 以上の偏回帰係数は信頼度 $(1-\alpha)=0.95$ において有意であることがわかり，この回帰式の各説明変数の偏回帰係数の $|t(\alpha)|$ の値により r_{10} の推定に寄与している度合を知ることが出来る。

同表によると (16) 式によって表わされる低速域の算定式を構成している各説明変数（船型要素及び相関項）の r_{10} の推定に寄与する度合は，$F_{n\nabla}$ の変化に伴い変動することを示している。

これらの変数 $X_1, X_2, X_3, \cdots, X_{35}$ の中には個々の $F_{n\nabla}$ については $|t(\alpha)|$ の小さいものもあるので，これらを削除して回帰式の簡易化をはかることも考えられるが，$F_{n\nabla}=0.7\sim1.2$ までを通して同一の式で表現するためには，各 $F_{n\nabla}$ にわたって $|t(\alpha)|$ の小さい X_{14}, X_{15}, X_{27} はこれを削除することも考え得る。

高速域に対する (17) 式においても同様に r_{10} を構成する船型要素及び相関項の推定に寄与する度合は，$F_{n\nabla}$ 変化に伴う $t(\alpha)$ の変動量は大きく，$L_{WL}/\nabla^{1/3}$ 及び $B_{CT}/\nabla^{1/3}$ に対応する $t(\alpha)$ の寄与が大きい。

又，$F_{n\nabla}=1.2\sim2.1$ を通して $t(\alpha)$ の小さい X_{12} 及び X_7 は除外することは可能である。

(2)　算定式を構成する項の寄与度

算定式 (16) 式及び (17) 式の右辺各項は，船型要素を基準化した夫々の変数 X_i ($=X_1, X_2, \cdots, X_8$)，夫々の2乗 X_i^2 ($=X_1^2, X_2^2, \cdots, X_8^2$) 並びに相乗積 X_iX_j ($=X_1X_2, X_1X_3, \cdots, X_7X_8$) と夫々対応する偏回帰係数 a_i ($=a_1, a_2, \cdots, a_{35}$) との相乗積 a_iX_i, $a_iX_i^2$, $a_iX_iX_j$ の和により構成されており，この解析に使用したデータのばらつきを示す X_i, X_i^2, X_iX_j の各標準偏差 σ_{X_i}, $\sigma_{X_i^2}$, $\sigma_{X_iX_j}$ と偏回帰係数 a_i との相乗積 $a_i\times\sigma_{X_i}$, $a_i\times\sigma_{X_i^2}$ 及び $a_i\times\sigma_{X_iX_j}$ の値は r_{10} を構成する式の右辺各項の重みを示すものとなり，r_{10} の値に対して各船型要素並びに相関要素がどのように影響を及ぼしているかを知ることが出来る。

前項では偏回帰係数が r_{10} の推定に寄与する度合を t-

検定の結果の t 値の大小によって判断することが可能であるが，この場合には任意の船型要素に対して基準化した値 X_i，X_i^2 及び X_iX_j 等が船型により必しも同比率で変化するとは考えられないので，偏回帰係数と説明変数の標準偏差との相乗積による判断も併せて必要である。

図18に低速域用の(16)式による偏回帰係数と標準偏差の積を各説明変数毎に $F_{n\nabla}=0.7\sim1.2$ の範囲にわたり棒グラフで示した。同様に図19に高速域用の(17)式によるものを $F_{n\nabla}=1.2\sim2.1$ の範囲にわたって示した。

低速域（図18）では，$L_{WL}/\nabla^{1/3}$，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$，$T_T/\nabla^{1/3}$ 及び B_C/T の項が r_{10} の増減に大きな影響を持ち，更に $(A_K/A)^2$ 項並びに $L_{WL}/\nabla^{1/3}\times A_K/A$ 項も同程度の影響度を持っていることが明瞭である。すなわち，排水量一定の場合には，水線長 L_{WL} を長くして $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ を大きくすれば r_{10} を減少させる方向に，トランサム幅 B_{CT} を広くすれば r_{10} を増加させる方向に，トランサムの喫水 T_T を深くすれば r_{10} を増加させる方向に影響することがわかる。又，船体中央部における B_C/T を大きくすると r_{10} は減少の方向に影響することを示している。

高速域（図19）では，$L_{WL}/\nabla^{1/3}$ の影響が極めて強く，排水量一定の場合には水線長 L_{WL} を長くすると r_{10} は減少の傾向を示し，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$ を大きくすれば r_{10} は増加の傾向である。又，浮心の位置 LCB は前方に移せば r_{10} は減少し，水線に対する船尾バトックラインの傾斜 α_{BS} は小さい程 r_{10} は減少する傾向を示している。$(L_{WL}/\nabla^{1/3})^2$ 項は逆に L_{WL} を長くすれば r_{10} を増大させる方向に影響し，α_{BS} はその2乗項 $(\alpha_{BS})^2$ 及び相関項 $L_{WL}/\nabla^{1/3}\times\alpha_{BS}$，$B_{CT}/\nabla^{1/3}\times\alpha_{BS}$ においてその影響が $F_{n\nabla}$ の大小により正負に変化することがわかる。

これらの船型要素並びに算定式を構成する各項の寄与度は以上の通りであるが，実際の船ではこれらの要素の影響が干渉し合って異ることが考えられる。

図18及び図19を見ることにより低速域及び高速域における r_{10} に及ぼす船型要素の影響の相異を知ることができる。特に高速域では $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ の影響が極めて強く，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$ は高速域よりは低速域において影響が大きく，低速域における $T_T/\nabla^{1/3}$ の影響が大きい。

3.7.3　船の姿勢と抵抗

模型船の抵抗試験時の船の姿勢と抵抗値との関連についてほぼ一定の傾向が認められる。

図11に示した全抵抗係数曲線において，last hump における r_{10} の低い船型は M-86-3，5，M-98-5，7 及び M-100-2，5，8 等であり，これらの模型船の r_{10} 曲線並びに dipping curve を図8及び図10に示している。

図中の ΔD は模型船曳航時の FP 及び AP における静止時水面を基準としたトリムレコーダによる沈下量（−）及び浮上量（＋）を示している。

dipping curve に見られるように，これらの船型要素の中特徴的な点は，$L_{WL}/\nabla^{1/3}$ が何れも 6.20 以上で最大値が 7.09，L_{WL}/B_C が 5.50 以上で最大値が 6.98 である細長い船型群であり，しかも，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$ が 1.20 以下で最小値が 0.95 であるトランサム幅のせまい船型群であり，これらの船型の r_{10} は全速度領域にわたって低く，特に last hump における r_{10} が低い値を示している。

これらの船型の曳航中の船の姿勢は dipping curve に見られるように，$F_{n\nabla}=1.1\sim1.2$ 附近に変曲点があるが，一般的に AP の沈下量は少く，FP の浮上量も少い部類の船型であり，running trim angle は最大 2° 程度である。

これらの船型の対照的な船型として M-92-2，5，8 の r_{10} 曲線並びに dipping curve を図6に示す。これらの船型群は r_{10} が比較的高い部類に属し，その船型要素は $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ が 6.02 以下で最小値が 5.98，L_{WL}/B_C が 4.18 以下で最小値が 3.70，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$ が 1.05 以上で最大値 1.59 の範囲内にある船型群で，排水量の割合に幅が広く，トランサム幅も広い船型である。dipping curve が示すように $F_{n\nabla}=0.9\sim1.2$ の速度領域において船の姿勢が急激に変化し，高速域における FP の浮上量，AP の沈下量ともに大きく running trim angle も 4〜6° に達していることが明らかである。

以上のことから，$F_{n\nabla}=1.2$ 附近の last hump における r_{10} を低くおさえるためには，細長い船型が船の姿勢の変化の少い点からも有利であり，しかも一般的に $F_{n\nabla}=1.2$ 以下及び $F_{n\nabla}=2.1$ までの高速領域においても r_{10} の低い船型であると言える。

しかるに，漁船の場合には，まき網漁船，底曳網漁船，各種の作業船等漁業の種類によっては，漁撈機械の装備や漁具類の搭載のために船全体の重心位置が上昇するので，復原性能確保のため幅を広げざるを得ないものがあり，これが幅の広い船型の原因となっている。このような船型でありながら高速を得ようとすれば，last hump において高い r_{10} となることはある程度止むを得ないであろう。

以上のように，船型の基本的な寸法比あるいは船型要素により船の姿勢と船体抵抗の増減の傾向をつかむことが出来るので，設計面への活用を期待し得よう。

4. 船型改良法

4.1 船型改良の一般的方法

前章までに沿岸漁船の抵抗試験データをもとに，船型要素，速度等をパラメータとした重回帰分析による実船の全抵抗係数 r_{10} 算定式を作成し，算定式の精度は実用に供しうるものであることを確認した。そこで本章では，この算定式を使用した船型改良への指針と具体的応用例を考える。

沿岸漁船の実船全抵抗係数 r_{10} は低速域用算定式 (16) 式及び高速域用算定式 (17) 式を使用して求めることが可能である。両式に使用されている船型要素の使用可能な範囲内及び $F_{n\nabla}$ の範囲内において満遍なく船型要素と r_{10} の関係を知るためには，この算定式による結果を具体的に数表あるいはチャート (contour) に表示すると便利であり，チャートは使い方によっては抵抗極小船型を追求する方向を比較的容易に探る有効な手段にすることができる。

この目的のために低速域及び高速域用の2種類の全抵抗係数推定表及び contour を作成し，これによって抵抗極小船型要素を探り，漁業種類により船型上の特徴が明瞭な高速沿岸漁船への適用を試みることとした。

4.1.1 全抵抗係数推定表による船型改良

(1) 全抵抗係数 r_{10} 推定表

全抵抗係数 r_{10} 推定表を低速域用 ($F_{n\nabla}=0.7\sim1.2$) と高速域用 ($F_{n\nabla}=1.2\sim2.1$) に分けて作成した。

1) 低速域用 r_{10} 推定表 ($F_{n\nabla}=0.7\sim1.2$)

全抵抗係数算定式 (16) 式を使用し，$C_P=0.60$ 及び 0.65 について，$r_{10}\times100$ を次の組合せで $F_{n\nabla}=0.1$ おきに数表を作成した。使用した船型要素は次の通りである。

$T_T/\nabla^{1/3}$	−0.2	0	0.2			
LCB (%)	45	50	55			
B_C/T	3	5	7	9		
$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0
	6.2	6.4	6.6			
$B_{CT}/\nabla^{1/3}$	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
	1.4	1.5	1.6			

但し $\alpha_{BS}=-3.50$ 及び $A_K/A=0.03$ に固定

表 14 に低速域用推定表 r_{10} の一例を示す。

2) 高速域用 r_{10} 推定表 ($F_{n\nabla}=1.2\sim2.1$)

全抵抗係数算定式 (17) を使用し，$r_{10}\times100$ を次の組合せで $F_{n\nabla}=0.1$ おきに数表を作成した。

LCB (%)	42	46	50	54		
α_{BS}	−5	−4	−3	−2	−1	
$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	5.0	5.2	5.4	5.6	5.8	6.0
	6.2	6.4	6.6			
$B_{CT}/\nabla^{1/3}$	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3
	1.4	1.5	1.6			

表 15 に高速域用 r_{10} 推定表の一例を示す。

ここで，図 14-1～図 14-12 及び図 15～1～図 15-6 に示すように各船型要素の分布状況から算定式使用可能と考えられる枠を設けている。

r_{10} 算定式に使用されているすべての船型要素が枠内にある場合，これに相当する枠を低速域用及び高速域用ともに数表にも設定している。本表の枠外のデータを使用するときには推定精度は必しも保証されないので，原則として利用しないことにする。さらに枠内にあっても，$r_{10}\times100$ の算定値が，推定される値よりも過小と思われるものには斜線を引いて適用除外としてある。

(2) r_{10} 推定表による抵抗極小船型の特徴

高速沿岸漁船の抵抗が極小となる船型の特徴を，高速域用 r_{10} 推定表を使用して探究してみる。

本論文では船型要素の使用可能範囲内での船型と大胆に使用範囲外まで領域を拡大した場合の2つについて検討する。

1) 船型要素の使用範囲内での抵抗極小船型の特徴

a) 細長い系統の船型

高速域用 r_{10} 推定表によれば，比較的 r_{10} が小さくなる船型要素は $F_{n\nabla}$ 領域によって異なるが，$F_{n\nabla}$ の2つの領域における船型要素の範囲は次のとおりである。

表 10 細長船型の船型要素の範囲
Range of ship form parameter of narrow ship

$F_{n\nabla}$	1.2～1.7	1.8～2.0
$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	6.6	6.6
$B_{CT}/\nabla^{1/3}$	0.8～1.2	1.1～1.3
LCB (%)	42～54	42～50
α_{BS} (°)	−3	−2

これらの船型は細長い系統の船型であることを示している。

一般に高速になるに伴い，$L_{WL}/\nabla^{1/3}$ は大きい方が r_{10} は小さくなる傾向を示しているが，6.6 はこの推定表の上限である。$B_{CT}/\nabla^{1/3}$ については大きい方が，LCB は後方（つまり 50% 以下）が，α_{BS} は小さい方（水平に近い）が r_{10} は小さくなる傾向を示す。

（注） 表だけを見れば，α_{BS} の変動については一部 r_{10} が最小値となるものもあるように読める。しかし，全般的には上にのべた通りである。

b)　幅広の系統の船型

高速域用 r_{10} 推定表において設計速力が $F_{n\nabla}=1.2\sim1.6$ にある時，幅広船型（すなわち $B_{CT}/\nabla^{1/3}$ が比較的大）で r_{10} を小さくする領域が存在することが明らかとなった。その船型要素は次のとおりである。

表 11　幅広船型の船型要素の範囲
Range of ship form parameter of wide ship

$F_{n\nabla}$	1.2～1.6
$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	6.6
$B_{CT}/\nabla^{1/3}$	1.2～1.6
LCB　(%)	42～ 46
α_{BS}　(°)	−3～−1

2)　船型要素の使用可能範囲外での抵抗極小船型の可能性

高速域用 α_{10} 推定表においては，船型要素を使用可能範囲外まで若干外挿すれば，$L_{WL}/\nabla^{1/3}$ は 6.6 以上，LCB は 42% 以下の細長船型に r_{10} が極めて低くなる傾向がある。この細長い系統の船型は 1) の船型要素の使用範囲内で探究した船型要素に比較して，$F_{n\nabla}=1.8\sim2.0$ においては $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ は 7.0 以上，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$ は大き目の 1.3，LCB は 42% 以内，α_{BS} は −2° 以内のように変化する。又，幅広の系統の船型については，1) の船型要素の使用範囲内で探究した船型要素に比較して，$L_{WL}/\nabla^{1/3}$ を外挿して大きくした場合に最も r_{10} への影響が大きく，そのための要素は特に大きな変化は見られない。

(3)　高速沿岸漁船の分類と適用船型

一般に漁船は，漁業種類の相違により漁撈方法が異なり，使用する漁具やこれを操作する漁撈機械等の装備が異なるだけでなく，漁撈方法によっては船体に大きな横傾斜をあたえるモーメントが働く場合がある。これらの漁船は安全法により復原性能を最優先させて船型を決める必要があるので，船型も速力性能も漁業種類によって異なるのが普通である。

上述のように高速域 r_{10} 推定表の枠内のデータを基にして考えれば，細長い系統の船型と比較的幅広の船型に抵抗極小となる船型要素と $F_{n\nabla}$ の組合せがあることがわかった。これを高速沿岸漁船の個々のケースに当てはめ，これらが漁船のいかなる漁業種類の船に対応づけられるかで船型を分類すると次の通りになる。

1)　軽装備型（細長い系統の船型）

一本釣漁船，刺し網漁船，はえなわ漁船などがこの部類に属し，漁具並びに漁撈機械等の装備が軽量であり，船体に働く傾斜モーメントも小さいため，船型は細長く，排水量は小さく，高速な船が多いのが特徴である。

軽装備型の船型は，(2) において述べた r_{10} 推定表を用いて船型要素の使用可能範囲内で探究した抵抗極小船型のうちの細長い系統の船型に相当し，更に船型要素の使用範囲外まで若干の外挿をして探究した抵抗極小船型に該当している。

2)　重装備型（幅の広い系統の船型）

底曳網漁船，まき網漁船，各種作業船などがこの部類に属し，漁具並びに漁撈機械等の装備重量が重く，船体に働く傾斜モーメントも大きいため，復原性能を確保するために船型は幅が広く，排水量は大きく，しかも高速を要求されるものが多い。

電装備の船型は，同じく (2) において述べた r_{10} 推定表を用いて船型要素の使用可能範囲内で求めた抵抗極小船型のうちの幅の広い系統の船型に該当している。

以上の状況をまとめると以下の表のようになる。

表 12　船型の分類と漁船の種類
Classification of ship form and kind of fishing boat

型	船型	漁船の種類
1)　軽装備型	細長い船型	一本釣，刺し網，はえなわ，採介藻等
2)　重装備型	広幅船型	底曳網，まき網，作業船，敷網，ひき網等

この両タイプについて船型改良の指針を求めるとすれば次のようになる。

表 13　船型の分類と設計の指針
Classification of ship form and guide of design

型	船型改良の指針	
	r_{10} 推定表の枠内	r_{10} 推定表の枠外
1)　軽装備型	細長い船型 $F_{n\nabla}=1.8\sim2.0$ にて $L_{WL}/\nabla^{1/3}=6.6$ $B_{CT}/\nabla^{1/3}=1.1\sim1.3$ $LCB=42\sim50\%$ $\alpha_{BS}=-2°$	更に細長い船型 $F_{n\nabla}=1.8\sim2.0$ にて $L_{WL}/\nabla^{1/3}>7.0$ $B_{CT}/\nabla^{1/3}=1.3$ $LCB<42°$ $\alpha_{BS}=-2°\sim-1°$
2)　重装備型	広幅船型 $F_{n\nabla}=1.2\sim1.6$ にて $L_{WL}/\nabla^{1/3}=6.6$ $B_{CT}/\nabla^{1/3}=1.2\sim1.6$ $LCB=42\sim46\%$ $\alpha_{BS}=-3°\sim-1°$	$L_{WL}/\nabla^{1/3}$ 6.6 以外は特に船型要素の変化はない。

従って漁船の船型改良をとりあげるとすれば，これら軽装備船と重装備船を区分して行わなければならないことが明らかである。そこで本論文としては軽・重の代表船型をとりあげ，個々に船型改良を具体的に追求することとした。小型漁船の漁業種類別，トン数階層別の分布状況を考慮し，軽装備船の代表として一本釣漁船を，重装備船の代表として底曳網漁船をとりあげることとした。改良に当って設計速力及び船型主要目の変化の枠をどの範囲にとるかについては以下の通りとした。

1)　底曳網型（M-124）

幅の広い船型を基本とし，r_{10} 推定に当っては，高速域用 r_{10} 推定表の船型要素の分布範囲内で抵抗極小船型を選出することとし，計画速力は $F_{n\nabla}=1.6$ とした。この船型についての r_{10} 推定精度は高い。

2)　一本釣型（M-125）

高速域用 r_{10} 推定表により，r_{10} の小さくなる傾向をつかみ，船型要素の分布範囲を若干外挿して抵抗減少の可能性をねらった船型とすることとし，計画速力は $F_{n\nabla}=1.8$ 以上とした。この船型については r_{10} 推定の信頼度は若干低いと考えられる。

4.1.2　船型要素と r_{10} の contour による船型改良

r_{10} が極小になるような船型要素の組合せ，及び傾向を探るため，船型要素による r_{10} の contour を2種類作成し，計画船型の船型要素選定に使用した。

(1)　抵抗試験結果の r_{10} による Contour

高速域用 r_{10} 算定式 (17) 式を作成するデータとなった模型船抵抗試験結果の r_{10} 実測値（いわば生のデータ）を使用し，計画船の設計 $F_{n\nabla}$ における2組の船型要素による $r_{10}\times100$ の contour を作成し，計画船型の船型要素を選定する。

図 20-1～図 20-3 は底曳網型船型（M-124）の計画用とし，$F_{n\nabla}=1.6$ において，$L_{WL}/\nabla^{1/3}$ を横軸とし，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$，LCB 及び α_{BS} を縦軸とした場合の r_{10} 実測値を使用して作成した $r_{10}\times100$ の contour である。ただし，この contour line は4種類の船型要素のうち2種類の組合せのみにより plot した値を使用しているため概略の値を示している。図中に示す M-124 のマークは，この3組の contour 及び後述する r_{10} 推定式 (17) 式による3組の contour によって r_{10} の optimum 船型要素を探究した結果をもとにして，更に詳細計算による後述の方法で選定された船型要素の最終計画値を示し，線図作成後の最終値を矢印で示している。

図 21-1～図 22-3 は一本釣型船型（M-125）の計画用として同様な方法で作成されている。一本釣型船型は，設計速力が $F_{n\nabla}=1.8$ 以上であることと，高速域用 r_{10} 算定式 (17) 式の作成に使用したデータの範囲から外挿して r_{10} の減少を目標としている点が底曳網型と異なる。図中に示す M-125 のマークは M-124 と同様にして得られた船型要素の最終計画値と線図作成後の最終値を矢印で示している。

(2)　r_{10} 推定式による contour

(1) に対し，一旦重回帰分析した結果の contour を用いて最適化することが考えられる。勿論統計解析結果が抵抗試験の生のデータを完全に表わし，同一であれば結果は (1) と同じになる筈である（本節ではこのことも併せて検討する）。

高速域用 r_{10} 算定式 (17) 式によって作成された r_{10} 推定表を使用し，計画船の設計 $F_{n\nabla}$ における2組の船型要素による $r_{10}\times100$ の contour を作成し，計画船型の船型要素を選定する。

図 22-1～図 22-3 には底曳網型船型（M-124）の計画用として $F_{n\nabla}=1.6$ における $r_{10}\times100$ の contour を示す。4種類の船型要素 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$，LCB 及び α_{BS} のうち，$L_{WL}/\nabla^{1/3}$ を横軸とし，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$，LCB 及び α_{BS} を縦軸とし，夫々残る2種類を一定として contour を作成した。例えば，図 22-1 は $LCB=42\%$，$\alpha_{BS}=-2.0°$ における横軸 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$，縦軸 $B_{CT}/\nabla^{1/3}$ の $r_{10}\times100$ の contour であり，以下同様である。

図中に示す M-124 のマークは図 20-1～図 20-3 に示す r_{10} の実測値による3組の contour 及び図 22-1～図 22-3 に示す3組の contour によって r_{10} の optimum 船型要素を探究した結果をもとにして，更に後述する詳細計算による方法で選定された船型要素の最終計画値と線図作成後の最終値を矢印で示している。

図 23-1～図 23-3 には一本釣型船型（M-125）の計画用として，同様な方法によって作成された contour を示す。一本釣型船型は $F_{n\nabla}=1.8$ 以上の設計速力としているので，$F_{n\nabla}=1.8$ について contour を作成した。図中の M-125 のマークは M-124 と同様に，船型要素の最終計画値と線図作成後の最終値を矢印で示している。

4.1.3　M-124，M-125 の主要寸法の選定

すでに述べたように漁船の船型計画では，航走中・操業中の復原性能を最優先して考慮しなければならない。「動力漁船の性能の基準」（水産庁）には漁業種類毎，船質別，トン数階層別に船の主要寸法比（長さ幅比，長さ深さ比，幅深さ比）が定められ安全性の不足した特異な船型が建造されないようある程度の規制がなされている。

具体的には復原性能確保のために幅を調整する方法が

とられる。船の長さについては，計画総トン数の範囲内において長さ幅比，長さ深さ比，幅深さ比の制約の範囲内で復原性能が確保される長さ，幅，深さが定められる。

r_{10} 算定式 (17) 式により作製した r_{10} 推定表並びに contour を使用して M-124 の主要を計画した。計画速力 $F_{n\nabla}=1.6$ においては $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ の増大に伴って r_{10} が減少する傾向があるので，算定式使用可能範囲の上限値として $L_{WL}/\nabla^{1/3}=6.6$ を考えた。

その他の船型要素については，初めに r_{10} 推定表によって r_{10} が子さくなる範囲を選出し，2種類の contour により optimum を目指して決定した。すなわち，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$ については r_{10} 推定表からの選定範囲 1.2～1.6 から contour を使って 1.3 に選定した。同様にして LCB については，42～46% の範囲から contour を使って 42% に，α_{BS} については -3～$-1°$ の範囲から contour を使って $-2°$ を選定した。

M-125 については，$F_{n\nabla}=1.8$ 以上で計画することにすると，$L_{WL}/\nabla^{1/3}$ の増大に伴って r_{10} が減少する傾向があり，r_{10} 推定表並びに contour では optimum が見つからなかった。従って抵抗減少をねらって外挿することにし，$L_{WL}/\nabla^{1/3}=7.2$ を考えた。

$B_{CT}/\nabla^{1/3}$ は，r_{10} 推定表によれば $L_{WL}/\nabla^{1/3}=6.6$ の場合に 1.1～1.3 の範囲内において r_{10} が小さい傾向であるが，$L_{WL}/\nabla^{1/3}=7.2$ まで外挿した場合には，2つの contour を使用することによって optimum に近い 1.3 となった。

LCB については，$L_{WL}/\nabla^{1/3}=6.6$ の場合には 42～50° の範囲内において r_{10} が小さいが，$L_{WL}/\nabla^{1/3}$ を外挿した場合には LCB の optimum は 42% よりも小さくなり，$L_{WL}/\nabla^{1/3}=7.2$ までの外挿により 40% とした。

α_{BS} については，$L_{WL}/\nabla^{1/3}=6.6$ の場合には $-2°$ において r_{10} が最小であったが，$L_{WL}/\nabla^{1/3}$ の外挿によって optimum は $-2°$～$-1°$ の範囲に移り，$L_{WL}/\nabla^{1/3}=7.2$ においては $-1.2°$ とした。

4.1.4 決定主要目の他の設計資料

一般に低速域で使用される船型においては，同一排水量に対して水線長の長い方が抵抗は小さくなるが，高速船型ではある速度を境に細長い船型の抵抗が増加することが知られている。

以下2，3の例について検討する。

(1) V 型モーターボート (EMB SERIES 50)[32] の図表からみた場合

24隻のシリーズテストの結果を B/H (H は喫水) を横軸，$\Delta\Big/\left(\frac{L}{100}\right)^3$ を縦軸として R/Δ (排水量当りの模型船全抵抗) の contour が $V_S/\sqrt{L}$ 毎に示されているが，これに M-124 及び M-125 の計画値をあてはめて抵抗変化の状況を見ることにする。

1) M-124

M 124 の計画値 $F_{n\nabla}=1.6$，$\Delta=10$ t，$L_{WL}=14.1$ m，$V_S=14.2$ Kt に対して，$V_S/\sqrt{L(\mathrm{ft})}=2.09$，$\Delta\Big/\left(\frac{L}{100}\right)^3=101$，$B/H=4.83$ となるが，これを $V_S/\sqrt{L(\mathrm{ft})}=2.0$ の contour に plot すると次表のようになる。

	$\Delta\Big/\left(\frac{L}{100}\right)^3$	L_{WL}(ft)	L_{WL}(m)	R/Δ(lbs/lb)
	120	43.7	13.3	0.0940
	110	45.0	13.7	0.0916
(M-124)	101	46.4	14.1	0.0895
	90	48.1	14.7	0.0880
	80	50.0	15.2	0.087-
(optimum)	76	50.9	15.5	0.087-
	70	52.3	15.9	0.087-
	60	55.0	16.8	0.0885
	50	58.5	17.8	0.0897

$V_S/\sqrt{L(\mathrm{ft})}=2.0$ では $L_{WL}=15.5$ m の場合に R/Δ が最小となり，これ以上長くすれば R/Δ は増大することを示している。

2) M-125

M-125 の計画値，$F_{n\nabla}=2.0$，$\Delta=10$ t，$L_{WL}=15.39$ m，$V_S=17.8$ Kt に対して $V_S/\sqrt{L(\mathrm{ft})}=2.50$，$\Delta\Big/\left(\frac{L}{100}\right)^3=77.7$，$B/H=5.30$ となるが，これを $V_S/\sqrt{L(\mathrm{ft})}=2.5$ の contour に plot すると次表のようにする。

	$\Delta\Big/\left(\frac{L}{100}\right)^3$	L_{WL}(ft)	L_{WL}(m)	R/Δ(lbs/lb)
	120	43.7	13.3	0.1200
	120	45.0	13.7	0.1190
	100	46.4	14.1	0.118-
(optimum)	96	47.1	14.3	0.118-
	90	48.1	14.7	0.118-
	80	50.0	15.2	0.118-
(M-125)	77.7	50.5	15.4	0.1200
	70	52.3	15.9	0.1213
	60	55.0	16.8	0.1240
	50	58.5	17.8	0.1270

$V_S/\sqrt{L(\mathrm{ft})}=2.5$ では，$L_{WL}=14.3$ m の時に R/Δ が最小となり，M-125 の $L_{WL}=15.39$ m は長過ぎることを示している。

従って，EMB SERIES 50 に M-124 をあてはめると $F_{n\nabla}=1.6$ に対しては L_{WL} は更に長い方い有利であり，M-125 にあてはめると $F_{n\nabla}=2.0$ に対しては L_{WL} は長

過ぎて不利であることを示している。

(2) 丹羽チャート（ハードチャイン型高速艇）[33]からみた場合

実船解析より求められたハードチャイン型高速艇用のチャートであり，横軸に $V/\Delta^{1/6}$，縦軸に $BHP/\Delta \cdot V$，パラメータとして $L/\Delta^{1/3}$ が使用されている。ここに V は船速（Kt）であり L は全長である。

contour line は $L/\Delta^{1/3}$ が小さくなるに伴い $BHP/\Delta \cdot V$ が高くなり，last hump が明瞭になって，$L/\nabla^{1/3}$ の大きい contour line は $L/\Delta^{1/3}$ の小さい contour line と高 $V/\Delta^{1/6}$ において交叉している。$L/\Delta^{1/3}=7.5$ の line は $V/\Delta^{1/6}=15.2$ ($F_{n\nabla}=2.51$) において $L/\Delta^{1/3}=7.0$ の line と，又，$V/\Delta^{1/6}=16.1$ ($F_{n\nabla}=2.66$) において $L/\Delta^{1/3}=6.5$ の line と交叉し，同一 $BHP/\Delta \cdot V$ をあたえる $L/\Delta^{1/3}$ の異なる船型が存在することを示している。従って，交叉する $V/\Delta^{1/6}$ 以下の速度領域では $L/\Delta^{1/3}$ の大きい船型を選んで $BHP/\Delta \cdot V$ を小さくすることが可能である。

M-124 及び M-125 をこのチャートに当てはめてみると，M-124 は計画 $F_{n\nabla}=1.6$ において $L/\Delta^{1/3}=7.10$ であり，M-125 は計画 $F_{n\nabla}=2.0$ において $L/\Delta^{1/3}=7.75$ であって，前記の $V/\Delta^{1/6}$ よりも低い $F_{n\nabla}$ で使用されるので，$BHP/\Delta \cdot V$ は比較的小さい。M-124 は $F_{n\nabla}=2.7$ 以上，M-125 は $F_{n\nabla}=2.4$ 以上の高速域で使用する場合には，水線長を計画値よりも，それぞれ短くすると有利である。

(3) 高速艇の馬力推算式から[34,35]考察した場合

高速艇の抵抗試験結果を $L/\nabla^{1/3}$，$LG/\nabla^{1/3}$，β_T，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$ の4種類の船型要素を使った重回帰分析により，R/Δ_{50} についての 25 項の回帰式にまとめられている。ここに L は全長，LG はトランサムから重心までの距離，β_T はトランサムのデッドライズ角であり，R/Δ_{50} は排水量 50 t の場合の排水量当りの全抵抗である。

M-124 に最も近い contour〔$LCB=43\%$，$B_{CT}/\nabla^{1/3}=1.4$，$\beta_T=8.5°$ (M-124 は 6.8°)〕についてみると，$L/\nabla^{1/3}=6.5\sim7.5$ の間において R_T/Δ_{50} は，$F_{n\nabla}=2.0$ の場合には $L/\nabla^{1/3}$ の増加と共に減少し，$F_{n\nabla}=2.5$ の場合には殆んど等しい値を示し，又，$F_{n\nabla}=3.0$ 以上では $L/\nabla^{1/3}$ の増加に伴い増大する傾向を示している。

M-125 に最も近い contour〔$LCB=40\%$，$B_{CT}/\nabla^{1/3}=1.4$，$\beta_T=2°$ (M-125 は 4.5°)〕についてみると，$L/\nabla^{1/3}=6.5\sim7.5$ の間において R_T/Δ_{50} は，$F_{n\nabla}=2.0$ の場合には $L/\nabla^{1/3}$ の大きい方が若干有利であり，$F_{n\nabla}=2.5$ の場合には殆んど変化はなく，$F_{n\nabla}=0.3$ 以上では $L/\nabla^{1/3}$ の増加に伴ない逆に増大する傾向を示している。この資料から M-125 はかなり optimum に近く，この船型のまま更に高速化しても使用し得ると考えられる。

4.2 底曳網型船型（M-124）の船型改良〔応用例 1〕

4.2.1 船型主要目の決定

これまでに述べて来たように，昨今の高速沿岸小型漁船を調査した結果，漁船には細長い系統の船型と幅の広い系統の船型があり，船型を改良できることがわかった。そこで本節以降において具体的に両漁船の船型改良を試みることにした。すなわち，底曳網型船型(幅広型)と一本釣型船型（細長型）である。

底曳網型船型計画は，設計速度を $F_{n\nabla}=1.6$ とした。r_{10} 算定式 (17) 式作成用の基礎データとなった模型船抵抗試験結果の r_{10} を用いて，船型要素による $r_{10}\times100$ をパラメータとする contour（図 20-1～図 20-3）を作成し，抵抗極小となる船型要素の組合せを探り，更に r_{10} 算定式 (17) を使用して船型要素による $r_{10}\times100$ をパラメータとする contour（図 22-1～図 22-3）を作成し optimum 船型要素を追求した。

船型要素 $L_{WL}/\Delta^{1/3}$，$BCT/\nabla^{1/3}$，LCB 及び α_{BS} の広範囲にわたる組合せを考え，(17) 式により算定した r_{10} を計画船の船型要素選定の資料とした。このうちから r_{10} が比較的小さいものを選んで図示したものが図 24 である。

$B_{CT}/\nabla^{1/3}$ の選定は復原性能との関連で選定しなければならないが，後述する現存底曳網漁船の代表として選んだ比較対象船（M-92）と同等以上とする必要があるため，1.3 を採用することにした。

同図中の Table に示す No. 106，113，114 及び 204 が $B_{CT}/\nabla^{1/3}=1.3$ であり，その他の船型要素は $L_{WL}/\nabla^{1/3}=6.6$，$LCB=42\%$ で等しく，α_{BS} のみが異っている。設計速力 $F_{n\nabla}=1.6$ においては，No. 204 の r_{10} が最も低く，No. 106 がこれに次いで低いが，$F_{n\nabla}=1.5$ 以下では何れの r_{10} も殆んど等しく，$F_{n\nabla}=1.7\sim1.9$ においては No. 204 の r_{10} が最も高く，他は大差ない。これらを綜合して No. 106 ($\alpha_{BS}=-2.0°$) が最も有利とみて採用することとした。

従って，底曳網型船型（M-124）の船型要素の組合せの候補は，

$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	6.60
$B_{CT}/\nabla^{1/3}$	1.30
LCB	42.0%
α_{BS}	−2.0°

となったが，これらの値を図 20-1～図 20-3 及び図 22-1～図 22-3 に示す r_{10} の contour の中に plot（◎ M-124 と記入）して optimum であることを確認した。

念のため前記の 4 船型要素を持つ船型のうち，各船型要素を夫々 ±5% 変化させた船型について（ただし α_{BS} のみは ±10% の変化も行った。）(17) 式により算定した $r_{10}\times100$ を計算し表 16 に比較している。本結果からみても，上記の要目船はほぼ optimum point にあることがわかる。

以上の綜合的な検討によって上記の船型要素を最終計画値とした。

4.2.2 線図の作成

(1) 線図の計画

底曳網漁船の標準船として設計された図 5 に示す瀬戸内海底曳網漁船（M-92）を従来型の代表船型とし，表 4 に示す M-92-5（常用状態）を比較対象状態として船型改良を行った。

なお，「1969 年の船舶のトン数の測度に関する国際条約」が昭和 57 年 7 月 18 日に発効し，国内におけるトン数測度法が大改正されたのに伴い「動力漁船の性能の基準」も改正されたが，ここでは従来法規に従って計画を進める。

表 18 に M-124 と M-92-5 の船型要素 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$, $B_{CT}/\nabla^{1/3}$, LCB, α_{BS} を示しているが，改良の主要点は次のとおりである。

1) $B_{CT}/\nabla^{1/3}$ について

同一排水量で船型改良を行なうことにし，復原性能の面から幅を従来船と同等にする必要があるため船体中央部におけるチャイン幅 B_C を同等とした。

ただし，従来型はチャイン幅を中央部から後方に向ってせばめているのが普通である。M-92 の場合は，トランサム幅 B_{CT} は最大チャイン幅の約 88% である。

これに対して，M-124 は $F_{n\nabla}=1.6$ で計画しているため船尾船底に滑走面を作る必要があるので，最大チャイン幅をトランサムまで延長した。

従って M-124 の $B_{CT}/\nabla^{1/3}$ を M-92 の $B_C/\nabla^{1/3}$ と同等とした。

2) $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ について

水線長さについては，r_{10} の推定値が極小になるための $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ として，r_{10} 算定式作成に使用した標本データの分布範囲の上限値 6.6 としたので，M-92-5 よりも約 20% 長くなった。

3) LCB について

静止時の浮力中心の前後位置，すなわち船体重量重心の前後位置を LCB としている。4 船型要素の組合せによる極小抵抗の追求により，M-124 の LCB は M-92-5 の $LCB=47.3\%$ よりも後方に移して 42.0% として船型計画を進めた。

4) α_{BS} について

α_{BS} については，静止時における船体後半の滑走面と水面とのなす角度を表現する平均的な値として，バトックライン傾斜を船型要素としている。4 船型要素の組合せによる極小抵抗の追求によると，M-124 の α_{ES} は，M-92-5 の $\alpha_{BS}=-4.8°$ に比較して約 2/5 相当の $-2.0°$ として船型計画を進めた。

表 18 中の * 印は線図作成後の値を示している。

(2) 設計の手順

この設計に使用する 4 種類の船型要素は何れも水線長 L_{WL} をベースとしているので，これらの船型要素を基にして船型を組立てる性能面からの手順と，通常使用される登録長さ L_R，又は垂線間長さ L_{PP} による表示に換算する手順が必要であると共に，漁船の場合には，「動力漁船の性能の基準」に総トン数に対応する船体主要目比の範囲が規定されているので，この基準に合致していることが要求される（表 18 参照）。

1) L_{WL} ベースの主要目

設計排水量を 10 t としているので，r_{10} 算定式より求めた極小抵抗をあたえる船型要素の中，$L_{WL}/\nabla^{1/3}$ 及び $B_{CT}/\nabla^{1/3}$ から，水線長 L_{WL} とトランサムのチャイン幅 B_{CT} が決まる。最大チャイン幅 B_C は B_{CT} と等しくする。実際に建造されるハードチャイン船型では，船側外板を傾斜させることが多く，甲板部における船の幅 B，水線幅 B_{WL} 及びチャイン幅 B_C がいずれも異なるため fullness，主要目比等の定義を明確にする必要がある。この設計では単純化して $B=B_{WL}=B_C$ とした。更に，$L_{WL}/2$ における喫水 T 及び C_M をあたえることにより，C_B, C_P, B_C/T 等の主要目が決まる。

2) L_R ベースの主要目と性能基準

小型漁船の場合には，甲板下面位置における舵柱の中心から前方甲板下面の延長と船首材の前端の交点までの水平距離をもって登録長 L_R とし，この長さを使用して線図を作成する場合が多い。従って，AP から後方の長さは，従来法規では $L_R\times0.13$ 以内であれば総トン数に算入されないことになっており，船首材の傾斜による長さの減少を含めて M-124 の場合の L_R は L_{WL} の約 93% である。

幅は通常の定義により最大幅をとり，深さ D も通常の定義に従って $L_R/2$ における深さをとる。

総トン数は従来法規に従い，L_R が 20 m 未満であるため甲板下のトン数は簡易測度規程により，FRP 漁船

の場合は，$L_R \times B \times D \times 0.62 \times 0.353$ で算出される。

L_R が 15 m 未満の漁船では，甲板上には総トン数に算入される部分は極めて少いので，甲板下トン数を使用して「動力漁船の性能の基準」を満足するよう要目を選定する必要がある。

M-124 の場合，総トン数 6.85 T を相当する同基準は $L_R/B<5.5$，$L_R/D<15.3$ 及び $2.0<B/D<3.58$ であり，本船の主要目はこの基準を満足している。

3）線図作成上の要点

はじめに側面形状を画くが，この際には $L_{WL}/2$ より後方におけるチャインラインは水線と平行な直線とし，船体中心線は $L_{WL}/2$ において BL と交叉する直線とするようにしながら，$B_C/4$ におけるバトックライン傾斜角 α_{BS} を $-2.0°$ となるよう船体中心線の若干の修正を繰返す。

次に，平面形状としてデッキライン，チャインライン，スケグ等を画き，続いて C_M を選定した値となるように $L_{WL}/2$ のデッドライズを決め，フレームラインを画く。LCB を 42% に合わすには，若干の喫水 T の修正，フレームライン形状の修正を同時に行わなければならない。

線図作成結果として $\alpha_{BS}=-1.52°$，$LCB=44.4\%$ となり，船体中心線の舵前方の船底にプロペラを装備する種類の船型としては，計画値をそのまま使用することには，シャフト傾斜過大による性能面からの制約と主機関の潤滑油系統の保守面からの制約等のため若干無理のあることが明らかとなった。船外機あるいは船内外機型式（IN/OUT ドライブ，又は Z ドライブ方式）の主機関及び軸系を装備する場合には，α_{BS} 及び LCB を選定した値とすることは充分可能である。

M-124 の線図を図 26 に示す。

4.2.3　考察（1）—線図の特徴

以上によって底曳網漁船の改良船（M-124）の線図を作成したが，線図作成後船型要素を再び計測した結果は次のとおりである。

$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	6.60
$B_{CT}/\nabla^{1/3}$	1.30
LCB	44.4%
α_{BS}	$-1.52°$

$L_{WL}/\nabla^{1/3}$ が大きく，現存船に比較して幅は同等であるが，同一排水量においては L_{WL} が長く，L_{WL}/B_C も 5.07 である。しかし，L_R/B は 4.71 であって動力漁船の性能の基準の中の規定 $L_R/B<5.5$ は充分に満足している。B_C は現存船よりも若干小さくなっているが，B_{CT} は大きく，航走時の滑走面を確保していると共に，L_{WL} も長いので同一排水量では復原性能は向上している。LCB は当初計画よりも前方に移ったが，現存船よりは後方にある。α_{BS} は船尾のチャインライン形状，フレームライン形状等により著しく相違を生ずるが，$L_{WL}/2$ 後方に平滑な滑走面を持っている。

チャインライン形状は，$L_{WL}/2$ よりも後方における側面形状は計画喫水線に平行として α_{BS} を小さくしており，平面形状は $L_{WL}/2$ におけるチャイン幅 B_C を後方まで $B_C=B_{CT}$ として滑走面が充分に確保されている。$L_{WL}/2$ よりも前方における側面形状は船首前端におけるチャインラインの高さが $L_{WL}/2$ における高さの約 1.9 倍，水線とチャインラインの交点は船首側から約 1/3 にある。

フレームライン形状は船首部は concave 型（凹型），$L_{WL}/2$ より後方は直線型である。

$L_{WL}/2$（ord. 5）における船底傾斜（デッドライズ）は 19.6°，トランサムにおけるデッドライズは 6.2° であって比較的大きい。

スケグは幅がせまくて，シャフトブラケット併用の軸系装置とすることとし，スケグ容積と表面積が極力小さくなるよう計画されている。

4.2.4　考察（2）—改良効果の予想

r_{10} 算定式 (17) 式による M-124 及び M-92-5 の r_{10} の計算値，並びに M-92-5 の水槽試験結果より求めた r_{10} を図 27 に示している。

実測値と計算値との誤差を勘案して，M-124 の船型改良による効果を計画速力 $F_{n\nabla}=1.6$ において約 27% と推定した。

後述する M-124 の抵抗試験結果より求めた r_{10} を同図に示したところ，推定値を上廻る改良効果が得られ，$F_{n\nabla}=1.6$ において約 33% 低い値となった。

4.3　一本釣型船型（M-125）の船型改良〔応用例 2〕

4.3.1　船型要素の選定

一本釣型船型の船型要素の選定は，底曳網型船型と同様な方法によった。

r_{10} 推定表による抵抗極小となる船型要素は，r_{10} 算定式 (17) 式の使用可能範囲内においては細長い系統の船型であることが明らかとなったが，この船型を一本釣漁船に適用するためには，(17) 式の使用可能範囲外に外挿して更に抵抗減少を目標とした。

一本釣型船型計画は，設計速度を $F_{n\nabla}=1.8$ 以上とし，模型船抵抗試験結果の r_{10} を用いて船型要素による $r_{10}\times100$ をパラメータとする contour（図 21-1～図 21

-3）及び(17)式を使用して船型要素による $r_{10}\times100$ をパラメータとする contour（図 23-1～図 23-3）を作成して，optimum 船型を検討した。

これらの検討結果をもとに船型要素 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$，LCB 及び α_{BS} の広範囲にわたる組合せを考え，(17)式により算定した r_{10} のうちから比較的小さいものを選んで図示したものが図 25 である。

図中の表に示す No. 230 のみが $B_{CT}/\nabla^{1/3}=1.4$ であるが，後述する現存一本釣漁船の代表として選んだ比較対象船（M-98 及び M-100）の $B_{CT}/\nabla^{1/3}$ と同等以上として計画するとしても，1.4 は過大であるため，$r_{10}\times100$ は最も低いにもかかわらず除外することとした。計画船の $B_{CT}/\nabla^{1/3}=1.3$ は M-98-5 及び M-100-5 よりも若干小さ目である。これらを考え合わせて $B_{CT}/\nabla^{1/3}=1.3$ として計画を進めた。

No. 130, 131 及び 132 は $L_{WL}/\nabla^{1/3}=7.2$, $B_{CT}/\nabla^{1/3}=1.3$, $\alpha_{BS}=-1.5°$ において LCB が 40, 41 及び 42 % に変化した場合の $r_{10}\times100$ を比較しているが，$F_{n\nabla}=1.8$ 前後における相違は少い。

No. 130 と No. 133, No. 132 と No. 244 は夫々 α_{BS} の変化に伴う $r_{10}\times100$ の変化を比較しているが，何れも $\alpha_{BS}=-1.5°$ よりも $-1.2°$ の方が低い値を示している。

No. 133 と No. 244 は同じ $\alpha_{BS}=-1.2°$ において，LCB の変化による $r_{10}\times100$ の変化を比較しているが，両者の差は小さい。

これらを総合的にみて，No. 133 を採用することとした。従って一本釣型船型（M-125）の船型要素は

$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	7.20*
$B_{CT}/\nabla^{1/3}$	1.30
LCB	40.0%*
α_{BS}	$-1.2°$

である。これらの値を図 21-1～図 21-3 及び図 23-1～図 23-3 に示す r_{10} の contour 上に plot（⊠ M-125 と記入）すると大幅に外挿していることになり，かつ optimum から大きく外れていることはないと考えられる。

更に，前記の 4 種類の船型要素を持つ船型のうち，各船型要素を夫々 ±5% 変化させた船型について（ただし α_{BS} のみは ±10% の変化も行った）(17)式により算定した $r_{10}\times100$ の比較を表 17 に示しているが，これによってもほぼ妥当であることがわかる。（$L_{WL}/\nabla^{1/3}>6.6$, $LCB<40\%$ は算定式使用可能範囲を超えている。）

重回帰分析を実施して得られた r_{10} の回帰方程式における推定は，原則として標本データの分布範囲内で行うべきであるが，抵抗極小船型を追求する過程で，この使用範囲内に optimum が存在しないことがわかり，M-125 の船型として 4 船型要素のうち $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ と α_{BS} を範囲外に外挿して，(17)式により r_{10} を算定した結果，r_{10} 減少の傾向があることが認められたので可能性を追求することにした。

以上の総合的検討をへて，前記の船型要素を最終計画値とした。

4.3.2 線図の作成

(1) 線図の計画

一本釣漁船の標準船として設計された図 9 及び図 7 に示す 11.5 m 型一本釣専用漁船・標準設計船（M-100）及び和歌山県曳縄釣漁船・海幸丸（M-98）を従来型の代表船型として，表 4 に示す M-100-5（常用状態）及び M-98-5（常用状態）を比較対象状態として改良船型の詳細計画を行った。

表 18 に M-125 と M-100-5 及び M-98-5 の船型要素 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$，LCB，α_{BS} を示しているが，改良の主要点は次のとおりである。

1) $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ について

水線長については，M-125 は r_{10} 算定式に使用した標本データの分布範囲を外れるが，抵抗減少の可能性を追求して $L_{WL}/\nabla^{1/3}=7.2$ とした。その結果 M-100-5 よりは 9%，又，M-98-5 よりは 11% 長くなった。

2) $B_{CT}/\nabla^{1/3}$ について

チャイン幅については，M-125 は $B_{CT}/\nabla^{1/3}=1.3$ を採用し，チャイン幅を $L_{WL}/2$ からトランサムまで同じとした船型を考えたが，M-100-5 及び M-98-5 は B_{CT}/B_C が夫々 91% 及び 93% である。従って M-125 の B_{CT} は M-100-5 及び M-98-5 に比較して夫々約 18% 及び 28% 広くしている。

3) LCB について

静止時の浮力中心については，M-125 は r_{10} 算定式に使用した標本データの分布範囲を外れて $LCB=40\%$ とし，抵抗減少の可能性を追求することにした。従って，M-100-5 及び M-98-5 に比較して夫々約 20% 及び約 10% 後方に移っている。

4) α_{BS} について

α_{BS} については，M-125 は $-1.2°$ を目標とした。M-100-5 及び M-98-5 における α_{BS} は夫々 $-2.0°$ 及び $-1.5°$ である。

表 16 中の * 印は線図作成後の値を示している。

(2) 設計の手順

前記の M-124 と同じ手順で実施したので，特記すべき点のみを挙げる。（表 18 参照）

1) L_{WL} ベースの主要目

$L_{WL}/2$ におけるチャイン幅 B_C 及び船の幅 B を，M-124 と同様にトランサムのチャイン幅 B_{CT} と同じとした。

2) L_R ベースの主要目と性能基準

AP から後方トランサムまでの長さを L_R の 13% 以内とし，FP から船首材の前端までの距離を船首材の傾斜を考慮して水線長さが 15.39 m になるように L_R を 14.20 m とした。L_R は L_{WL} の約 92% である。

M-125 の総トン数は約 8.12 T となり，本船の L_R/B, L_R/D, B/D の値は「動力漁船の性能の基準」に示される基準値 $L_R/B<5.5$, $L_R/D<15.2$, $2.0<B/D<3.57$ を満足している。

3) 線図作成上の要点

チャインラインの側面形状及び平面形状をトランサムから $L_{WL}/2$ まで，計画喫水線に平行な直線とし，α_{BS} が $-1.2°$ になるよう船体中心の船底線を $L/_{WL}/2$ からトランサムまで直線として船尾形状をまとめた。AP の前方，船体中心線の線底下にプロペラを装備する方式の船型としては，この制約のため一定排水量において LCB と α_{BS} を設定値に近づけることはかなり困難である。

その結果，LCB=44.9%，$\alpha_{BS}=-1.37°$ となり，若干設定値から外れたが，この種類の漁船船型としては止むを得ない。M-125 の線図は図 28 に示している。

4.3.3 考察 (1) 線図の特徴

M-125 の線図作成後の船型要素は次のとおりである。

$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	7.20
$B_{CT}/\nabla^{1/3}$	1.30
LCB	44.9%
α_{BS}	$-1.37°$

現存船に比較して $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ 及び $B_{CT}/\nabla^{1/3}$ が大きく，同一排水量においては L_{WL} が長く，B_{CT} も広い。しかし，L_{WL}/B_C はほぼ等しい。L_R/B は現存船よりむしろ若干小さめである。トランサムにおけるチャイン幅 B_{CT} は $L_{WL}/2$ におけるチャイン幅 B_C と同じとし，船尾船底における滑走面が確保されている。

LCB は最終計画値を実用線図とする過程において，船尾船底下にプロペラを収める軸系装置方式を踏襲するには，主機関の許容据付け角度と船尾船底形状との相関によって船尾船型を決める必要が生じ，結果として大幅な変更を余儀なくされている。α_{BS} も船尾チャインラインと船底線との関連により目標値よりもずれたが，船尾には平滑な滑走面は確保されている。

チャインライン形状は，$L_{WL}/2$ より後方における側面形状は計画喫水線に対して平行とし，α_{BS} を小さくしている。平面形状は $L_{WL}/2$ におけるチャイン幅 B_C はトランサムまで同じ幅で延長され，滑走面が充分に確保されている。$L_{WL}/2$ よりも前方における側面形状は船首前端におけるチャイン高さが $L_{WL}/2$ における高さの約 2.0 倍，水線とチャインラインの交点が船首側から約 $L_{WL}/3$ にある。

フレームライン形状は船首部は concave 型（凹型），$L_{WL}/2$ より後方は直線型である。

$L_{WL}/2$ (ord. 5) における船底傾斜（デッドライズ）は 17.6°，トランサムにおけるデッドライズは 4.5° である。

スケグは幅をせまくし，シャフトブラケット併用の軸系装置とすることにして，スケグの容積と表面積は極力小さくおさえられている。

4.3.4 考察 (2) 改良効果の予想

r_{10} 算定式 (17) 式による M-125 と M-100-5 及び M-98-5 の r_{10} の計算値を図 29 に比較して示している。なお，M-100-5 及び M-98-5 の水槽試験結果から得られた r_{10} を同図に示して比較しているが，M-98-5 は，計算値と実測値が非常に良く一致している。

M-125 は $F_{n\nabla}=1.8$ 以上で計画されているが，これらの r_{10} 曲線を勘案して，$F_{n\nabla}=1.8$ において約 23～26%，$F_{n\nabla}=2.0$ において約 23～28% の船型改良効果を期待した。

後述する M-125 の抵抗試験結果から求めた r_{10} を同図に示してみると，$F_{n\nabla}=1.8$ において約 18～20%，$F_{n\nabla}=2.0$ において約 19～22% の r_{10} を減少させることが出来たが，期待値には約 4～6% 及ばなかった。

r_{10} 算定式 (17) 式による M-125 の r_{10} の算定値は，確認試験の結果，実測値に比較して低く推定し過ることが明らかとなった。ただし，この結果のみから外挿した r_{10} がすべて低く算定されるとは言えない。使用範囲内の r_{10} の増減の傾向に従って外挿した場合の r_{10} の推定値が過大及び過小になるものと思われる。

5. 模型実験による確認

前章において r_{10} 算定式 (17) 式に基づいて，同算定式使用範囲内において抵抗極小の船型計画を底曳網型船型 (M-124) に応用設計し，又，使用範囲をやや外挿して抵抗極小の一本釣型船型（M-125）を設計した。これらの船型が予想される性能を保持しているか否かを水槽模型実験により確認することにした。

実験は東京大学船型試験水槽で抵抗試験，波形計測並びに波紋撮影の 3 項目について実施することにした。自航試験も検討したが，曳引車の最高速度目標を 3 m/s と

し，模型船水線長さを 1.70 m としたため，自航動力計を搭載する排水量の余裕がないので実施不可能であった。

5.1 供試模型船

5.1.1 底曳網型船型（M-124）

M-124 の主要目を表 19 に，線図を図 26 に示す。模型船は水線長さ 1.70 m の木製ラッカー仕上げとし，主要目等を表 22 に示す。

模型船の外形写真を図 41 に示す。

M-124 は瀬戸内海底曳網漁船 M-92 を改良の比較対象船にしているが，その線図はすでに図 5 に示している。主要目は $\Delta=10$ t に換算したものを表 20 に示し，M-124 と比較している。

5.1.2 一本釣型船型（M-125）

M-125 の主要目を表 19 に，線図を図 28 に示す。模型船は水線長を 1.70 m とした木製ラッカー仕上げであり，主要目等は表 23 に示す。

模型船の外形写真を図 42 に示す。

M-125 は一本釣専用漁船標準設計船 M-100 及び和歌山県曳縄釣漁船・海幸丸 M-98 を対象に改良が加えられた船型であり，それらの線図はすでに図 9 及び図 7 に示している。これらの主要目は $\Delta=10$ t に換算した値を M-125 と比較して表 21 に示す。

5.2 抵抗試験

5.2.1 試験状態

(1) M-124

M-124 の抵抗試験は，計画状態 M-124-1 及び船尾トリム状態 M-124-2 の 2 状態について実施した。比較対象船 M-92 は同一排水量で船尾トリムを変化させた 3 状態について（財）日本造船技術センターに委託して実施してある。このうち M-92-5 は γ_{10} ご最も低く，本船の実用状態であって船尾トリム 2.38% である。ただし，船尾トリムは BL を基準とした値であり，ノルマルトリム（5.71%）を含まない。

従って，M-92-5（トリム 2.38%，ノルマルトリムを含めると 8.09%）を M-124-1（トリム 0%，これはノルマルトリム 4.34% に対応する）と比較し，更に船尾トリムを 2.38% 大きくした M-92-6（トリム 4.76%，ノルマルトリムを含めると 10.47%）を M-124-2（トリム 2.38%，ノルマルトリムを含めると 6.72%）と比較することにした。

これらの試験状態を表 22 に示す。

(2) M-125

M-125 の抵抗試験は，計画状態 M-125-1 及び船尾トリム状態 M-125-2 の 2 状態について実施した。

M-100 及び M-98 を比較対象船としているが（模型実験は(財)日本造船技術センターで実施），γ_{10} の低い実用状態として M-100-5（トリム 1.3%）及び M 98-5（トリム 1.39%）を M-125-1（トリム 0%）と比較する。ここに船尾トリムは BL を基準とした値であり，ノルマルトリムを含まない。ノルマルトリムは M-100 は 5.22%，M-98 は 6.92%，M-125 は 4.23% である。

更に，船尾トリムを大きくした M-100-6（トリム 2.61%）及び M-98-6（トリム 2.78%）を M-125-2（トリム 1.3%）と比較することにした。

これらの試験状態を表 23 に示す。

(3) 曳航点及び曳航方向

曳航点は両船共に ORD $4^1/_2$ とし，プロペラ軸を仮想し，静止時のシャフトセンターの方向に曳航した。従って速度変化に伴う航走トリム変化に対してその都度スラスト方向に曳航することはせず，曳航点の位置を一定とした。曳航点の高さは BL より M-124-1 は 28 mm，M-125-1 は 29 mm であり，曳航方向は共に静止水面に対して 7° であった。

比較対象船の曳航点及び曳航方向も同様に ORD $4^1/_2$ において静止時のシャフトセンターの方向に曳航した。

5.2.2 抵抗試験結果〔M-124 及び M-125〕

M-124-1 及び 2 並びに M-125-1 及び 2 の抵抗試験結果の模型船全抵抗係数 γ_{TM} を図 30 に示す。図中には Schoenherr の C_F mean line も記入している。

この船型については 2 次元解析法を適用することにしているので，形状影響係数 K は馬力の推定には不要であるが，両船型共に Trim=0% の場合は，M-124-1 及び M-125-1 の K の概略値は比較的小さく，夫々約 0.22 及び 0.29 程度の値を示している。なお，船尾トリムにした M-124-2 及び M-125-2 の K は大きく，夫々約 0.64 及び 0.48 程度の値を示している。

両船型共に船尾トリムにすることにより，全速度領域において抵抗は増大し，特に低速域から hump までの増加率は大きい，M 124 2 のように船尾トリムの大きい場合は増加率は更に大きくなることを示している。

M-124 2 は，船尾トリムによるトランサム後方の渦発生に起因すると思われる不安定現象が抵抗計測値に表われ，$F_n=0.2\sim0.4$ ($F_{np}=0.5\sim1.0$) の間でとくに不安定であったので図中にその変動範囲を示した。しかし，$F_{np}=0.45$ 以上では変動は見られなかった。

M 124 及び M-125 の γ_{TM} を実船の全抵抗係数 γ_{10}

に換算して比較したのが図32であり，r_{10} は r_{TM} に比較して約 0.01 低い値となっている。模型船 M-124 及び M-125 は水線長が等しく，排水量が異っているので，r_{10} に換算すると r_{TM} と r_{10} の相対関係は若干異なる。

図31に両船型の dipping curve と航走中のトリム変化及び sinkage を示している。

航走中のトリム角は，$F_n=0.7$ ($F_{nV}=1.8$) 近傍において M-125-1 及び -2 共に約 1.6°，M-124-1 は約 1.8°，M-124-2 は約 2.0° であるが，これを同じ $F_{nV}=1.8$ における M-92-5 及び -6 の約 4.8° 及び 5.0°，M-98-5 及び -6 の共に約 2.0，M-100-5 及び -6 の約 1.8° 及び 2.3° に比較すると船型改良の効果が航走姿勢に現われている。すなわち，M-124 は M-92 に比較して格段に滑走し易い航走姿勢に改善されたことが抵抗値との関係から判断されるが，M-92-5 及び -6 と異なる結果となったことについては後述する。

M-125 も M-98 及び M-100 に比較して更に航走姿勢の面からも改善されたことが明らかである。

5.2.3 抵抗試験結果に関する考察

(1) M-124 と M-92 の比較

図33は M-124 と M-92 の r_{10} を比較したものである。M-124-1 は M-92-5 と，M-124-2 は M-92-6 と夫々比較すべき関係にある。

M-124-1 の last hump ($F_{nV}=1.25$) における r_{10} は M-92-5 の last hump ($F_{nV}=1.20$) の r_{10} よりも約 38% 低い値を示している。設計速力 $F_{nV}=1.6$ においては約 33%，$F_{nV}=1.8$ においては約 34% 低い値を示し，船型改良の効果が現われている。

ただし，低速域の $F_{nV}=0.83$ 以下においては，M-124-1 の r_{10} はかえって高い。

M-92-5 は，排水量，トリム共に常用状態に対応しているが，船尾トリムが更に 2.38% 大きい M-92-6 でも使用されるので，これと比較するために行われた M 124 2 を比較する。

M-124-2 の last hump ($F_{nV}=1.12$) における r_{10} は M-92-6 の last hump ($F_{nV}=1.15$) の r_{10} よりも約 29% 低い値を示し，$F_{nV}=1.6$ において約 23%，$F_{nV}=1.8$ において約 28% 低い値を示している。しかし，船尾トリムによる r_{10} の増加はむしろ M-124 の方が大きい。その理由は，扁平な船尾船底形状とトランサムのため，船尾喫水が深くなることによる渦の発生と粘性による圧力の回復がおくれること等に起因する抵抗増加によるものと考えられる。

$F_{nV}=0.9$ 以下では M-124-2 の r_{10} が M-92-6 よりも高くなっている。

全般的に見て M-124 (底曳網型) の $F_{nV}=1.0$ 以上においては船型改良は予想以上の改良が可能となった。すなわち，すでに述べたように，図27に示す M-92-5 及び M-124-1 の r_{10} 算定式による推定値と抵抗試験結果の比較においては，設計速力 $F_{nV}=1.6$ において M-124 の船型改良の効果は当初予想した 27% よりも約 6% 上回って 33% となった。

(2) M-125 と M-100 及び M-98 の比較

図34は M-125 の比較の対象船として選んだ M-100 及び M-98 の抵抗試験結果を r_{10} によって比較したものである。

M-125-1 は，M-98-5 に比較して last hump の近傍では r_{10} の減少量が大きく約 25% であるが，それより高速域においては約 17% 減少している。

M-100-5 と比較すると last hump の近傍では r_{10} の減少量は約 20% であるが，$F_{nV}=1.6$，1.8 及び 2.0 において夫々 17.3%，20.0% 及び 22.1% 減少している。しかし，低速域では M-125-1 と M-100-5 の r_{10} 曲線は，$F_{nV}=0.72$ で交叉し，M-125-1 はこれ以下の F_{nV} において却って抵抗が増大するのに対して，M-98-5 は低速域を含む全速度領域にわたって M-125-1 よりも r_{10} が大きい。

M-125-2 の r_{10} は，M-98-6 に比較して last hump 近傍において，約 19.6% 低い。高速域 $F_{nV}=1.6$，1.8 及び 2.0 においては夫々 17.2%，16.1% 及び 14.8% の減少を示している。

M-100-6 と比較すると，last hump の近傍においては約 8.2% の減少であるが，高速域では減少量は増し $F_{nV}=1.6$，1.8 及び 2.0 においては夫々 8.8%，11.2% 及び 12.7% の減少を示している。

低速域では，M-100 6 の r_{10} 曲線は M-98-6 のそれと $F_{nV}=1.04$ で交叉し，これ以下では M-100-6 の方が r_{10} は低い。M-98-6 の低速域は抵抗試験結果がないが，低速域全域にわたり M-100-6 よりも高い r_{10} となることが推測される。

M-98 は従来性能の優秀性が認められ，多数の建造実績を持つ漁船である。M-100 はこれらを基盤としてさらに改良が加えられた在来の標準設計船である。

これらを比較対象船として，更に抵抗減少を目指して設計されたのが M-125 であるが，抵抗性能における改良度は $F_{nV}=1.8$ では 11～20% の減少となり，M-124 における改良よりは劣っている。これは予想値のベースとなった算定式 (7) 式による r_{10} の計算値が船型要素の使用範囲を scale out しているため，過少に算出されているものと思われる。

すでに述べたように，図29に示す M-98-5，M-100-5 及び M-125 の γ_{10} 算定式よる推定値と抵抗試験結果の比較においては，M-98-5 は $F_{nV}=1.2$ 以上の高速全域にわたって両者は良く一致しているが，M-100-5 及び M-125-1 は γ_{10} の実測値よりも推定値が低く，$F_{nV}=1.8$ において M-100-5 は約 3%，M-125-1 は約 11% 低くなっている。

5.3 波形解析

5.3.1 解析結果

東京大学船型試験水槽の波形計測装置及び解析システムを使用し，M-124-1，2 及び M-125-1，2 の 2 船型について抵抗試験と同時に波形計測を行ない，Newman-Sharma 法による波形解析を実施した。造波抵抗は次式で求められる。

$$R_W=\frac{1}{2}\pi\rho V^2\int_{-\pi/2}^{\pi/2}[\{S(\theta)\}^2+\{C(\theta)\}^2]\cos^3\theta\cdot d\theta \quad \cdots\cdots(33)$$

ここに $S(\theta)$，$C(\theta)$ は後続自由波の振幅関数（sine 波成分，cosine 波成分）である。

抵抗に寄与する重率 $\cos^{3/2}\theta$ を乗じた重率振幅関数は，

$$\left.\begin{aligned}S^*(\theta)&=S(\theta)\cdot\cos^{3/2}(\theta)\\C^*(\theta)&=C(\theta)\cdot\cos^{3/2}(\theta)\end{aligned}\right\}\quad\cdots\cdots(34)$$

と定義され，R_W は

$$R_W=\frac{1}{2}\pi\rho V^2\int_{-\pi/2}^{\pi/2}[\{S^*(\theta)\}^2+\{C^*(\theta)\}^2]d\theta\quad\cdots\cdots(35)$$

$$=\frac{1}{2}\pi\rho V^2L^2\int_{-\pi/2}^{\pi/2}[A^*(\theta)/L]^2d\theta\quad\cdots\cdots(36)$$

ここに $A^*(\theta)/L$ は合成重率振幅関数であり，通常の造波抵抗係数 C_W は次のように表示されるが，

$$C_W=R_W\Big/\frac{1}{2}\rho L^2V^2\quad\cdots\cdots(37)$$

ここでは全抵抗係数 γ_{TS} 及び剰余抵抗係数 γ_R が，

$$\gamma=R\Big/\frac{1}{2}\rho\nabla^{2/3}V^2\quad\cdots\cdots(38)$$

で表示されているので，造波抵抗係数 γ_W もこの表示に従い，

$$\gamma_W=C_W\times L^2/\nabla^{2/3}\quad\cdots\cdots(39)$$

で表示する。

M-124-1 及び M-124-2 について行った波形解析結果から得られた排水量ベース造波抵抗係数 γ_W を図 35 に示す。図中の γ_R は Schoenherr mekn line を使用した剰余抵抗係数である。

M-125-1 及び M-125-2 についても同様の方法で求めた γ_R 及び γ_W を図 36 に示している。

両船型共に低速域における摩擦抵抗ならびに自由波のみによる造波抵抗以外の抵抗成分が大きいことが明らかとなり，特に船尾トリムによってこれら第 3 の抵抗成分が著しく増大することがわかる。

M-124-1 と船尾トリムにした M-124-2 の γ_W は，低速域から $F_{nV}=0.5$ までは殆んど差がないが，γ_R と γ_W の差すなわち摩擦抵抗と造波抵抗以外の抵抗成分が大きく，これにはトランサム船型の船尾喫水，トリム等の影響による渦抵抗が原因していると思われる。

M-125-1 の重率振幅関数 $S^*(\theta)$ 及び $C^*(\theta)$ を $F_n=0.3,\ 0.4,\ 0.6,\ 0.75$ について夫々図 37-1～図 37-5 に示し，合成重率振幅関数 $A^*(\theta)/L$ を F_n 毎に比較して図 38 に示している。

M-124-1 及び M-124-2 については，$A^*(\theta)/L$ を夫々図 39 及び図 40 に示している。この船型の γ_W は，$F_{nV}=0.5$ 以下においてトリムの変化にかかわらず殆んど同じ値を示し，$A^*(\theta)/L$ も $F_{nV}=0.4,\ 0.5$ において若干の差はあるが類似している。しかし，$F_{nV}=0.75$ においてはかなりの相違を示し，M-124-2 の γ_W が M-124-1 よりも高くなることを表現している。

5.3.2 波形写真

M-124-1 及び 2，M-125-1 及び 2 の夫々について船側波形並びに船尾波紋を抵抗試験時の各 F_n について撮影した。

M-125-1 については，$F_{nV}=0.3,\ 0.45,\ 0.525,\ 0.6,\ 0.7$ において波紋撮影を行ない，更に比較のために M-100-5 についても同様な撮影を行った。

これらのうちから一例として，M-125-1 については，図 43 に船側波形，図 44 に波紋，図 45 に船尾部波紋を夫々示した。又，図 46 には M-100-5 の波紋を示した。

図 47 に M-124-1 の船側波形を，図 48 に M-124-2 の船尾部波紋を示した。

5.4 考　察

5.4.1 抵抗成分

すでに述べたように，波形解析結果では後続自由波による波形造波抵抗係数 γ_W は，図 35 及び図 36 に見られるように，M-124 及び M-125 の両船型共にトリム状態の相違にも拘らず $F_n=0.5$ 以下の低速域においてはほぼ等しいが，高速域においては両船型共に船尾トリム状態では γ_W が約 16～17% 大きい。

一方，2 次元解析法による剰余抵抗係数 γ_R は，$F_n=0.5$ 以下の低速域では極めて大きく，船尾トリム状態では更に γ_R の増加量が大きい。

ここに，γ_R と γ_W の差は，全抵抗係数 γ_T から摩擦抵

抗係数 γ_F と γ_W を差引いたものであり，低速域ではトランサム部による渦抵抗の成分が主要部分を占めていると考えられる。トランサム部の水面が剝離する速度は図45及び図48に示すように，トリム無しの場合は $F_n=0.4$，トリムの大きい場合は $F_n=0.45$ 以上であり，$(\gamma_R-\gamma_W)$ も $F_n=0.5$ 近傍までが大きいことを併せ考えると，高速船型において $(\gamma_R-\gamma_W)$ に含まれる抵抗成分を論ずるには，速度領域をほぼ last hump の上下に分けて抵抗成分の分離を考える必要がある。

はじめに，高速域の抵抗成分の分離を取扱った論文で Daniel Savitsky[41] はハードチャイン滑走艇の滑走時の抵抗成分を次のように考えている。

$$R_T=R_{WT}+R_{WB}+R_P+R_S+R_V+R_{AP}+R_{AA}\cdots(40)$$

ここに

R_T……全抵抗

R_{WT}……造波抵抗

R_{WB}……崩波に基づく抵抗

R_P……圧力又は誘導抵抗

R_S……スプレー発生面におけるスプレー抵抗；本質的にはレイノルズ数に関連すると考えられている粘性抵抗成分である。

R_V……圧力面における粘性抵抗であり，レイルズ数に関連する。

R_{AP}……副部抵抗であり，シャフトブラケット，シャフト，舵，スクープ等の抵抗及び干渉抵抗その他。

R_{AA}……空気抵抗

更に，$(R_{WT}+R_{WB}+R_P)$ を圧力抵抗，(R_V+R_S) を粘性抵抗と区分している。

又，武隈・馬場[40]は，スプレー抵抗を圧力抵抗に含めて抵抗成分の分離を考えているが，これ以外はほぼ同様に考えられている。

これらの抵抗成分の分離は，何れも高速域における滑走状態についての考え方であるが，高速型漁船においても，$F_n=0.5$ 以上においては共通面が多いので基本的には類似な抵抗成分に分離することが可能と思われる。ただし，R_{WB} には船首波をハードチャイン部で崩す抵抗成分等が主要なものと考えられ，又，R_P はトランサム下端において流れが剝離することにより，粘性のため圧力の回復がさまたげられる抵抗成分が主たるものと考えられる。

一方，低速域においては，特に船尾トリムの大きい M-124-2 では図48に示すように，トランサム後方の渦の発生は $F_n=0.4$ 位までは著しいため，抵抗値が変動する不安定現象が見られ，$F_n=0.25$ において全抵抗測定値の2.5%に及ぶ変動幅が記録された。従って，低速域では崩波を含めた波抵抗 $R_{WP}(=R_{WT}+R_{WB})$ 及び粘性抵抗（R_V+R_S）を主要成分としてトランサム部に発生する渦抵抗 R_E を高速域用(40)式に追加する必要がある。これらのことから，高速型漁船では積載過大による喫水の増加，船尾喫水を深くする過大な船尾トリム等は全抵抗増大の要因となるため，設計時並びに運航上の注意を要する。

5.4.2　速度と波形

F_n 変化に伴う波形変化のパターンを，M-125-1 について図44の波紋及び図45の船尾部波紋を観察し，若干の考察を試みた。

F_n の増大に伴い，船首波の発生する前後位置は後方に移動し，$F_n=0.3$ の場合の ORD. $8^1/_2$ 近傍から $F_n=0.7$ の場合の ORD. $7^1/_2$ までに及んでいるが，これは船の姿勢の変化すなわち航走トリム変化及び sinkage との関連による移動である。船首波のうち自由波と見られる波頂線と船体中心線とのなす角度はほぼ19.8°に近い値であるが，船首ハードチャイン部による崩波あるいはスプレイ等は F_n の増大に伴ない斜め前方に張出している。

船尾波については，F_n の増大に伴い伝播角度が小さくなり，トランサムにおいて剝離した水面はトランサム後方で三角形状に盛上り，その頂点は F_n の増大と共に後方に移動している。

船首波及び船尾波共に波高は明らかではないが，図38に示す合成重率振幅関数 $A^*(\theta)/L$ により相対的な波高を推定することが出来る。

M-100-5 は M-125-1 と比較するために波紋を撮影し，図46に示したが，全般的に自由波の波高が高く，しかも局部抵抗も大きく銀粉の乱れが多いように見受けられる。しかし，M-100-5 は船首部分におけるハードチャインが M-125-1 よりもハードでないため，この部分の斜め前方への崩波やスプレーは少い。

6.　推進性能に関する確認

6.1　研究経過

前章までにハードチャイン・トランサム型高速沿岸漁船船型についての全抵抗係数算定式作成により，容易に有効馬力の推定が可能となり，更に抵抗性能面からの船型改良の方法も見出すことが出来，その改良効果も確認されたが，総合的な推進性能の改善のためには，自航要素並びに所要主機関馬力の推定が可能でなければならない。従って，この種の船型についてこれまでに実施され

た模型船自航試験結果及び実船実験結果をまとめ，推進性能の改善をはかることにした。

旧漁船研究室においては創立当初から，種々のトーションメータを使用して実船の主機関出力をプロペラ軸で計測し，その結果を水槽における抵抗試験あるいは自航試験結果と対比して推進性能を判断してきた。個々の船型に関する研究成果はすでに漁船研究技報に紹介されているが，ここには，FRP 漁船の研究に着手した後の成果を主体に述べる。

研究対象船を表 24 に示す。なお，FRP 漁船の性能を従来型木造漁船と比較するために木造船 3 隻を比較対象船としている。又，FRP 漁船の中には FRP 製船舶船型開発委員会で研究を実施した 4 隻を含んでいる。

6.2　試験結果の表現法

6.2.1　模型船の自航試験結果

模型船による自航試験結果は，スラスト一致法により解析するが，日幸丸とA丸が縮尺模型プロペラを適用し単独性能試験結果によるプロペラ性能曲線を使用している以外は，類似の標準プロペラを適用しその単独性能曲線を使用している。

$$\eta_P=\frac{EHP}{DHP} \quad \cdots\cdots(41)$$

$$=\frac{EHP}{SHP\times\eta_T} \quad \cdots\cdots(42)$$

$$=\eta_H\times\eta_O\times\eta_R \quad \cdots\cdots(43)$$

$$=\frac{1-t}{1-w_T}\times\eta_O\times\eta_R \quad \cdots\cdots(44)$$

$$=\frac{1-t}{1-w_T}\times\eta_B \quad \cdots\cdots(45)$$

ここに

η_P……推進効率

$EHP=R\times v/75$……有効馬力（PS）

$SHP=2\pi nQ/75$……軸馬力（PS），小型漁船の場合には BHP に等しい。

$\eta_T=DHP/SHP$……伝達効率

$\eta_H=(1-t)/(1-w_T)$…船殻効率

$t=(T-R)/T$……推力減少係数

$1-t=R/T$

$w_T=(v-v_A)/v$……伴流係数

$1-w_T=v_A/v$

$\eta_O=T_O\times v_{AO}/2\pi n_O Q_O$… プロペラ単独効率

$\eta_B=\eta_O\times\eta_R$

$=T\times v_A/2\pi nQ$……船後プロペラ効率

$\eta_R=\eta_B/\eta_O$

あるいは Q_O/Q……プロペラ効率比

R……船体抵抗（kg）

v……船の速度（m/s）

n……プロペラ回転数（1/s）

Q……実測トルク（kg-m）

v_A……プロペラ前進速度（m/s）

T……実測スラスト（kg）

Q_O……プロペラ単独性能より求めたトルク（kg-m）

また，しばしば次の推進係数 PC を使用する場合がある。

$$PC=\frac{EHP}{SHP} \quad 又は \quad \frac{EHP}{BHP} \quad \cdots\cdots(46)$$

6.2.2　実船計測試験結果

(1)　トルク及びスラストを計測した場合

実船試験計測のトルク，スラストを利用して性能を求める場合模型船と同様にスラスト一致法により，装備されているプロペラの単独性能曲線を使用して解析するのがよく行われている。この場合 η_P は次式で求めることが多い。

$$\eta_P=\frac{EHP}{THP}\times\eta_B=\eta_H\times\eta_B=\eta_H\times\eta_O\times\eta_R \quad \cdots\cdots(47)$$

ここに

EHP……模型抵抗試験による実船の有効馬力（PS）

$THP=T\times v_A/75$……推力馬力（PS）

$$\eta_H=\frac{EHP}{THR}=\frac{1-t}{1-w_{TS}} \quad \cdots\cdots(48)$$

$w_{TS}=(v-v_A)/v$…… スラスト一致法により求めた実船の伴流係数

$\eta_B=T\times v_A/2\pi nQ$

$=\eta_O\times\eta_R$ ……船後プロペラ効率

T……実測スラスト（kg）

Q……実測トルク（kg-m）

(2)　トルクのみを計測した場合

トルク一致法による実船試験の解析法は次のとおりである。ただし，プロペラ単独性能曲線は既知とする。トルク Q からトルク係数 K_Q を求め，この K_Q に対応する前進係数 J から伴流係数 w_{QS} を算出し（トルク一致法），更にこの J に対応するスラスト係数 K_T からスラストを算出する。これから求めた推力馬力 THP と模型船の抵抗試験結果から算出した EHP の比 EHP/THP から船殻効率 η_H が求められ，推力減少係数 t は $1-R/T$，$(T=K_T\rho n^2D^4)$ から求めることが出来る。ただし，模型

船と実船の伴流係数に関する尺度影響はないと仮定している。

ここに

$K_Q=Q/\rho n^2D^5$ …トルク係数

$J=v_A/nD$ ……前進率

$K_T=T/\rho n^2D^4$ …スラスト係数

ρ ……海水の密度（104.6 kg-s²/m⁴）

D ……プロペラ直径（m）

w_{QS} ……トルク一致法により求めた伴流係数

又，何れの場合も速度関係の表示は次のとおりである。

$F_n=v/\sqrt{L_{WL}\cdot g}$ ……フルード数

$F_{n\nabla}=v/\sqrt{\nabla^{1/3}\cdot g}$ ……速度排水容積係数

$F_{n\nabla}=F_n\times\sqrt{L_{WL}/\nabla^{1/3}}$ ……(49)

6.3　模型船による自航試験結果

表24に示すように FRP 船4隻，木造船2隻の自航試験結果があるので，これらの自航要素 w_T，t 及び η_R を比較したものが図49～51である。

図中に示す4隻の FRP 船は，いずれも高速型一本釣漁船であり，これらの船型は相互に類似し，細長い部類に属する。ただし，A丸のみがスケグなし，ビルジキールなしの船型であるが，他の3隻はいずれもスケグ付船型である。スケグ形状は夫々異なり，海幸丸（M-98）は幅がせまく船尾材にまで及ぶ完全なスケグを持っているが，日幸丸はプロペラ軸の支持をシャフトブラケット式とし長さを切りつめた幅のせまいスケグとし，一本釣標準設計船（M-100）は幅を中央部で広くした完全型のスケグを持っている。

自航試験は実船試験時状態に対応する状態で実施しているので，A丸はビルジキールなし，海幸丸及び日幸丸はビルジキール付である。ただし，M-100 はビルジキールを取付けずに，半載並びに満載状態で行われている。

又，2隻の木造船はいずれも和船型であり，プロペラ軸上下装置を持っていてプロペラをトランサム後方に収納出来るような船尾構造である。模型船による自航試験時には実船とほぼ相似なプロペラ上下装置を取付けている。神水丸（M-7）は極めて普通な和船型であるが，第2酒井丸（M-57）の船型は全般的に箱型に近く，実船のプロペラ深度が浅いので，トランサム等の影響を確めるために実船計測時状態（L-12）において軸傾斜を12°のまま，軸を下方にプロペラ直径の20%移した状態（L-12 low）についても比較試験を実施している。

これらの船型の自航要素を比較すると次のとおりである。

6.3.1　伴流係数 w_T

最近の FRP 漁船は F_n が 0.8 を超えるものが多くなっているが，木造漁船は F_n が 0.5 程度が限度のようである。ここに示す木造船は建造された年度も古く，特に高速を要求される船でなかったため，F_n が 0.4 程度までの自航試験にとどまっている。

FRP 船の M-98 と M-100 の実用状態に近い半載状態の w_T はかなり近い値を示し，全速度領域にわたって $w_T=0.10\sim0.125$ 程度の値である。ただし，M-100 の満載状態ではむしろ w_T は小さくなっているが，両状態はトリム一定のまま喫水を変化させたものである。

日幸丸の w_T は全速度領域において $w_T=0.025\sim0.03$ の値を示している。同船はスケグを切詰めてシャフトブラケット式としている影響が w_T の差にして 0.07～0.10 に及ぶことが明らかとなった。

一方，スケグのない従来型木造漁船については，まず M-7 においては，低速域では w_T は 0.10 であるが，速度の上昇と共に小さくなり，$F_n=0.40$ では $w_T=-0.025$ となり，伴流係数は負となっている。木造船 M-57 については，L-12 のプロペラ位置では，プロペラ前方のトランサム後端ならびにキールの影響が混入していると思われ，$F_n=0.4$ 近傍ではスケグ付船型とほぼ同等の値を示しているが，軸を下げてプロペラ深度を深くすると $F_n=0.4$ までの速度領域において $w_T=-0.025$ 程度の値を示している。

高速なスケグなし船型である A丸の低速域（$F_n=0.5$ 前後）においては $w_T=-0.05$ 前後の負の値となっているが，F_n の上昇と共に負の値が減少し，$F_n=0.7$ で $w_T=0.0$，$F_n=0.85$ では $w_T=0.015$ となる。last hump を超えるまでの速度領域においては，スケグがなく，プロペラを船底に突出させた船型においては伴流係数 w_T は負となるようである。

これは高速船において，船尾プロペラ位置でなお，船のふくらみによる流速加速状態が続いているためと思われる。

6.3.2　推力減少係数 t

FRP 漁船の M-98 は $F_n=0.6$ 以上の高速においては，t はほぼ 0.10 であり，M-100 の半載ならびに満載状態の t は 0.11～0.125 並びに 0.135～0.145 程度の値を示し，同一初期トリムで喫水が深くなると t の値は若干大きくなることを示している。日幸丸は $F_n=0.35\sim0.60$ の間において $t=0.02\sim0.025$ 程度の比較的小さい値を示している。A丸は $F_n=0.65$ 以下では日幸丸よりもやや低い値を示しているが，F_n の上昇と共に増大

し，$F_n=0.85$ においては $t=0.06$ となっている。

これら FRP 漁船に比較して木造漁船の t は $F_n=0.3$ 近傍で高い値を示しているが，F_n の上昇によって急速に小さくなり FRP 漁船の値に接近する傾向を示し，中でも M-57 (L-12 low) は日幸丸並びにA丸の t 値に近づく傾向を示している。

6.3.3 プロペラ効率比 η_R

FRP 漁船の η_R の値はほぼ 0.97～1.01 の範囲におさまっている。M-100 の満載状態の η_R は軽荷状態に比較して全速度領域にわたって約 0.02～0.025 低い。これら FRP 漁船に比較して木造漁船の η_R は一般に低い値を示している。

6.4 実船による計測結果

実船において，トルクあるいはスラストを計測した沿岸漁船のうちから表 24 に示す 7 隻について述べる。

実船計測結果の自航要素，伴流係数 w_{QS} 並びに w_{TS} 及び η_S について比較し図 52 及び図 53 に示す。

各自航要素の比較は次のとおりである。

6.4.1 伴流係数 w_{QS} 及び w_{TS}

M 98，日幸丸，A丸，B丸及び M-57 の船型は前記の通りである。FRP 漁船開北丸 (M-86) は船型としては細長い部類に属し，スケグを持っているが，このスケグは比較的幅はせまいが後端が流線型に成形されておらず，船尾管ボス部とスケグ幅がプロペラ直径に比較して大きい。第 2 和丸は中央部において幅の広いスケグを持つハードチャイン船型である。木造漁船の第 5 酒井丸は M-57 に類似な和船船型であるが，トランサム後方を洋式風に囲った船型である。

自航試験結果においては，スラスト一致法で求めた伴流係数 w_T とトルク一致法で求めた伴流係数 w_Q とは一般的に一致しない。実船における伴流係数 w_{TS} 並びに w_{QS} にも差の生ずることは当初から考えられたが，ここでは w_{TS} と w_{QS} が混在したものを一つの図に表示し，沿岸漁船の伴流の概要を実船計測結果から見ようとするものである。

図 52 を図 49 と比較すると，一般に実船相互の伴流係数の差は模型船相互の差よりも拡大している。個々の船については，日幸丸の模型自航試験結果の w_T と実船試験結果の w_{TS} が良く一致している以外は，M-57 については $F_n=0.38$ において w_{QS} は w_T よりも約 0.10 大きくなり，A丸は $F_n=0.5$ 以上において w_{TS} は w_T よりも約 0.035～0.025 逆に小さくなり，負の伴流係数をあたえる速度領域が高速部にまで及んでいる。

第 5 酒井丸の w_{TS} は負の値を，B丸の w_{TS} は 0.10～0.13 の値を示している。

M-86 の w_{QS} が高い値を示している理由はプロペラ前方のスケグ形状によるものと考えられ，M-98 の w_{QS} が $F_n=0.5$ 近傍において負の値となる理由は不明である。

6.4.2 推力減少係数 t

模型船における自航試験と同様に実船におけるトルクあるいはスラスト計測結果から実船の t 求めるには，を実船の船体抵抗 R_{TS} を計測し，プロペラ単独性能曲線を使用して実測トルクから推力 T_{QS} を算出するか，あるいは実測スラスト T_S により

$$t=(T_{QS}-R_{TS})/T_{QS} \quad \cdots\cdots(50)$$

又は

$$t=(T_S-R_{TS})/T_S \quad \cdots\cdots(51)$$

で求めることが出来る。しかし，実船の船体抵抗を計測することは容易ではないため，模型船の抵抗試験結果を粗度修正量 ΔC_F をある値に設定して実船に拡大した抵抗値を使用して t を求めることが可能である。この方法では η_O，η_R，$(1-w_T)$ 等が求められているためこの t の値の中には模型船と実船の相関に関する未知の要素がすべて包含されることになり適切ではない。

一般には，t の値には模型船と実船との尺度影響はないものとして模型船の t を使用して実船抵抗を算出し，模型船の抵抗値を実船に拡大する際に加算する ΔC_F にしわよせしている。

日幸丸の ΔC_F（浸水表面積Sベース）は約 2.5×10^{-3} と高い値を示している。

6.4.3 プロペラ効率比 η_R

M-86，M-98 及び日幸丸の実船計測より求めた η_R は，ほぼ 1.035～0.985 の値を示し，模型船自航試験結果とかなり良い一致を見せている。木造漁船第 5 酒井丸は若干低い値を示しているが，A丸と比較して必しも低いとは言えないばかりか，更にB丸のように 0.81 程度の低い値もある。

6.5 模型船と実船の試験結果比較

前項においてすでに模型船自航試験結果と実船計測結果による自航要素の比較についてのべたが，更に海幸丸 (M-98)，日幸丸及びA丸について比較検討を行った。

6.5.1 海幸丸（M 98）

海幸丸の模型船自航試験結果並びに実船計測結果の自航要素並びに，軸馬力，回転数等を図 54 に，主要目及び実船計測時状態を表 25 及び 26 に示す。同図における軸馬力 SHP 相互の比較では，SHP=DHP×1.03（伝達効率 $\eta_T=0.97$ とする）とすれば，$F_n=0.5$ ($F_{nF}=1.23$)

において約 27%, $F_n=0.54$ ($F_{nV}=1.28$) において約 20% 実船計測による SHP の方が模型船自航試験結果から求めた SHP より大きくなっている。

このような相違を生ずる要因の一つとして，自航試験時に使用したプロペラは実船プロペラと相似でない標準プロペラ（実船プロペラ直径 $D_P=0.700$ m, $D_P/L_{PP}=0.0591$, ピッチ比 0.814; 模型船プロペラ直径 $D_P=120$ mm, 実船換算 0.711 m, $D_P/L_{PP}=0.0600$, ピッチ比 0.700）であることが挙げられる。このため模型船自航試験結果のプロペラ効率が 12～15% 低くなり，プロペラ回転数は高くなっているので，自航試験結果の SHP は実船計測結果の SHP よりも，逆に高くなければならない。

実船計測結果の伴流係数 w_{QS} が模型船の値 w_T と比較して小さいこと，推力減少係数 t は逆に実船の値が模型船の値よりも大きいことなどから，実船プロペラ単独性能の推定が適正かの点が次に挙げられる。

ここにおいて，プロペラ効率比 η_R の実船と模型船の差は比較的小さく，プロペラ効率 η_O も既知であり，船殻効率 η_H の中の w_{QS} も既知であるため，推力減少係数に種々の未知な要因等を含めてしわよせされるが，そのような考え方には問題がある。

実船の航走時における船体抵抗が何らかの原因により模型船から拡大した抵抗値よりも大きくなっているため，これに伴ってスラストも増大していると考えるのが妥当と思われる。

6.5.2 日幸丸

日幸丸の実船計測結果，模型船自航試験結果並びに模型船と実船の自航要素等の比較を図 55～図 57，主要目及び実船計測時状態を図 27 及び図 28 に示す。

本船の場合には，実船計測時においてプロペラ軸トルク計測と同時にスラストも計測し，模型船の自航試験に当ってはプロペラは実船と相似なものを使用し，更にプロペラ単独試験も実施している。なお，模型船製作に当っては，実船の船尾回り，スケグ，シャフトブラケット，シューヒース，舵等を実測し，忠実に縮尺するよう留意した。

同図によれば，$F_n=0.55$ ($F_{nV}=1.29$) において，実船並びに模型船の伴流係数 w_{TS} 並びに w_T は一致し，プロペラ効率比 η_R もほぼ等しいが，プロペラ効率 η_O (模型プロペラ単独性能曲線より $(1-w_{TS})/(1-w_T)\fallingdotseq 1$ として実船の η_O を求めた）は実船の方が模型船よりも約 6% 低下し，回転数は約 6% 上昇している。これらの結果として軸馬力 SHP は約 25%，スラスト馬力 THP は約 26% 実船計測結果の値の方が，模型船の自航試験結果の値よりも大きい。

又，実船の推力減少係数 t は実船の抵抗試験結果がないので，模型船の自航試験結果から $t=(T-R)/T$ として直接求める方法では求められないので，模型船の抵抗試験結果を実船に換算した有効馬力 EHP を使用し，(48) 式より算出を試みた。

本船の場合には，トルクとスラストを同時に計測しているので，t の値の推定精度は海幸丸よりも高いにもかかわらず，模型船では $t=0.02$ であるのに対して実船では $t=0.23$ となって極めて大きな差を生じている。この t の値も不明な要素等のしわよせとして算出された値である。本船も海幸丸と同様に何らかの原因により，航走時の船体抵抗はこれに対応する模型船の抵抗値に比較して大きくなっていることをスラスト馬力 THP が示しており，スラスト増大に伴う軸馬力 SHP の増大を必要としている。

海幸丸並びに日幸丸の抵抗試験結果は，2 次元解析法により粗度修正 $\Delta C_F=0.4\times10^{-3}$ として EHP に換算しているが，日幸丸の実船計測結果の SHP に模型船自航試験結果の SHP を一致させるためには，ΔC_F は約 2.5×10^{-3} にならなければならない。

6.5.3 A 丸

A丸の模型船自航試験結果並びに実船計測結果の自航要素並びに軸馬力，回転数等を図 58 に，主要目及び実船計測時状態を図 29 及び図 30 に示す。

本船も実船計測時にはプロペラ軸トルクとスラストを同時計測し，模型船の自航試験に当っては，プロペラは実船と相似なものを使用し，さらにプロペラ単独性能試験も実施している。模型船製作に当っては，実船のシャフトブラケット，舵等の船尾廻りを実測して正確を期した。本船については，これまでに実施出来なかったプロペラ実測ならびに船尾管の回転摩擦の計測等も実施し精度の向上につとめた。

同図には模型船自航試験結果（実線）に実船計測結果のうち w_T と η_R は鎖線で比較し，EHP, THP 及び回転数 N は $\Delta C_F=1.2\times10^{-3}$ とし，実船と模型船の伴流係数に尺度影響がないものと仮定して実船計測値を置点している。

w_T 並びに η_R は模型船自航試験結果に比べて実船計測結果は何れも若干低い値を示しているが，スケグなしシャフトブラケット方式の w_T は高速領域においては $w_T=0$ と考えて良いことが判明した。なお，模型船と実船の試験結果による SHP の値を一致させるための ΔC_F の値は，本船では 1.2×10^{-3} であって日幸丸の約 1/2 となっており，スケグ付船型における ΔC_F は極めて大き

いことが明らかとなった。

6.6 高速域における自航要素の改善

6.6.1 推力減少係数

実船の推力減少係数を実船の抵抗とスラストから直接に求めることが出来ればよいが，高速領域の実船曳航試験による抵抗測定は極めて困難である。従って次のように間接に求めることが出来る。

(1) 実船トルク計測結果と模型船抵抗試験結果がある場合

通常 PC=EHP/SHP の大小により推進性能の優劣を判定するが，PC の内容を分析する場合には，類似船の自航試験結果から η_H を推定し，実船プロペラの単独性能曲線をプロペラチャートより求めて η_O を算定し，更に伝達効率 η_T を推定することにより，不明要素のしわよせも含んだ値として η_R が算出されることが多い。又，η_R を 1.0 前後の値とすれば，不明要素のしわよせを含んだ η_H が算出されるが，w_{PS} はプロペラ単独性能曲線より求められるので t に不明要素がしわよせされることになる。

(2) 実船トルク計測結果及び実船トルク・スラスト計測結果と模型船自航試験結果がある場合

実船の抵抗試験結果がないため，模型船から実船に換算した EHP と実船 SHP から PC を求めることになる。η_O，η_R 及び η_T は既知であり，模型船と実船の w_T に尺度影響がないものとすれば（図 57 参照），実船 SHP と模型船自航試験結果から求めた SHP との差を生ずる不明要素は解析的には η_H すなわち t に含まれることになり，見掛けの t 値となる。

実船トルク計測の場合はトルク一致法，実船トルク・スラスト計測の場合はスラスト一致法による解析によることになり，解析法により生ずる差も不明要素として t の値に含まれる。

このようにして得られた t の値は，解析の最終過程において算出されたものであるため不明要素が含まれ，結果として R'_{TS}（実測）$> R_{TS}$（模型試験による外挿）のときは，当然模型船自航試験結果の t よりも大きくなる。6.5 の 3 隻はいづれもこの場合に該当し，実船の抵抗値が，模型船の抵抗試験結果から実船に換算した抵抗値よりも大きいと考えるのが妥当のようである。従って，実船と模型船の t についての尺度影響がないものと仮定すれば，何らかの原因による実船の抵抗増加を ΔC_F に含めて考えることが出来る。前節A丸にはスケグが付いていない。このときの ΔC_F は他の例の約半分であり，スケグ等副部の有無が抵抗に大きな影響力を持つことが推定される。大型スケグ付船型では，浸水表面積の増大に伴う抵抗増加のみならず，スケグ断面の面積が大きく，その底面の幅が広い場合には，スケグ下面は水流方向に仰角を持っているので，端部からの渦の発生が平板の摩擦とは異なって速度依存則にのっとり，抵抗を増大させていると考えられる。スケグが必要な場合には，幅のせまいものとし，プロペラへの影響や旋回性能等も考慮して長さを切りつめてシャフトブラケット式とすることが望ましく，スケグの後端を流線形とし，ブラケットの形状等にも留意する必要がある。

6.6.2 伴流係数

スケグ全体形状及び大きさが伴流係数に影響するが，局部的にはスケグ後端の形状，スタンチューブ，シャフトブラケット等副部の影響により，水流が不均一となり有効伴流としては大きくなる。従って，これら副部の水流に対する配慮が不充分な場合には，プロペラキャビテーションやプロペラを起振源とする船体振動の発生を招くことがあるので，充分な整流対策が必要である。

スケグなし船型では，低速域では $w<0$ となることがあり，高速域では $w \fallingdotseq 0$ と考えてよい。last hump 前後において特に w が大きく負の値となることは，船速よりもプロペラ附近の流速が加速されていることを示している。この速度領域では船尾沈下量が大きくなり，t の値も大きくなる。従って，出来るだけ低い抵抗値で last hump を乗り切るためには，船尾沈下が大きくならないよう船尾船底（滑走面）の面積並びに容積に工夫が必要である。

6.6.3 プロペラ効率比

プロペラ効率比はスラスト一致法の場合には，実船計測時のトルク Q とこれに対応するプロペラ単独性能曲線より求めた Q_O との比 Q_O/Q により求められる値であるから，η_R が低下しないためには実船のプロペラ作動環境を単独性能試験時における水流に近づけるよう，船型並びに副部による水流の攪乱を極力小さくするよう配慮することが必要である。

6.7 考　察

6.7.1 実船トルク・スラスト計

従来型木造沿岸漁船の実船馬力計測資料は若干あるが，FRP 化された高速船型の資料がなかったため，開北丸（M-86）と海幸丸（M-98）について馬力計測を試み，開北丸については模型試験結果の EHP と実船計測の SHP より求めた PC により，木造漁船に比較してかなり改善されていることを知ったが，海幸丸については 1/5.925 模型船による自航試験を実施し，実船計測結果

の SHP との比較では，約 20～25% 実船の SHP が高いことが判明した。

しかるに，同船はプロペラ軸トルクのみ計測しているので，トルク一致法による解析によらざるを得ない上，プロペラ単独性能曲線を仲介にして自航要素が算出される。模型船と実船の厳密な比較をするためには何れもスラスト一致法による解析が必要となり，実船についてもトルクと同時にスラストも計測する必要がある。

このような観点から実船用トルク・スラスト計の開発が行われ，日幸丸においては初めてトルク・スラストの同時計測に成功した。更に，縮尺 1/4.07 模型船による自航試験と縮尺プロペラの単独性能試験を実施して，実船と模型船の相関関係の究明につとめた結果，同船についても，実船計測 SHP は模型船による SHP よりも $F_n=0.55$ ($F_{n\nabla}=1.37$, $V_S=12$ kt) において約 25% 高く，THP も約 26% 高いことが明らかとなった。両者を一致させるためには，ΔC_F を解析に使用した標準値 0.4×10^{-3} から $\Delta C_F=2.5\times10^{-3}$ にする必要がある。

同様にスケグなし船型である A 丸について実施した実船と模型船の試験結果の SHP を一致させるためには $\Delta C_F=1.2\times10^{-3}$ にする必要があることが明白となった。

これらの解析結果から，実船航走時における船体抵抗が，模型船自航時よりも大幅に増大していると推定せざるを得ない。

文献 17) において山県博士は，摩擦修正をほどこした模型船の自航試験結果をもとにして算出した実船軸馬力と実船の試運転時実測馬力とは，大型船では良く一致するが小型船では前者が小さくなることを指摘し，両者を一致させるために摩擦修正値に ε なる修正係数を導入した。ε の値は船の長さに反比例し，200 m では 1.003, 20 m では 1.620, 10 m では 1.760 としている。

文献 16) においては谷口博士は，小型船のパーフォーマンスが大型船に比較して悪いのは実船抵抗の推算に使用している Froude の摩擦抵抗式の不正確さによるものと推定し，実船試験結果をもとに Prandtl-Schlichting の摩擦式を修正した。

図 59 には日幸丸及び A 丸の実船摩擦抵抗を算出して前記文献と比較している。実船の摩擦抵抗は推力減少係数 t が模型船と実船で等しいと仮定し，実測スラストより実船全抵抗係数を求め，模型試験の剰余抵抗係数を差引いて得られる。両船共に R_n の増大に伴って C_F は急激に低くなる様相を示しているが，日幸丸の C_F は A 丸 (Koshin-maru) に比較して非常に高いが，前者がスケグ付船型，後者がスケグなし船型であり，この差が最も大きく現われていると考えられる。又，実船の全抵抗係数が模型船の全抵抗係数よりも高い理由は，小型船は風波の影響を受け易い上，船底部に突出物が多くそれらの影響が大きいことも原因と思われる。

実用面上では ΔC_F を当てはめて実船と模型船の SHP を一致させる対策を講ずることが先決であるが，本質的には水の粘性による尺度影響，抵抗試験結果の解析法等を含めて検討すべき実船と模型船の相関に関する重要な問題と思われる。

6.7.3 航走中トリム変化

船型と航走中トリム変化の大小の関連は，船型要素 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ が大きく，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$ の小さい船型はトリム変化が小さく，$L_{WL}/\nabla^{1/3}$ が小さく，$B_{CT}/\nabla^{1/3}$ の大きな船型はトリム変化が大きいことが一般的な傾向であり，これに α_{BS} の大小が関係する。

前者の船型のグループには M-86, M-98, M-100 等が属し，図 8, 図 10 の dipping curve がこれを示している。後者の船型のグループには，M-88, M-92, M-94 が属し，図 6 の dipping curve がこれを示し，前者との比較では running trim が格段に大きいことが明らかである。

図 60 には日幸丸の模型船による抵抗試験時及び自航試験時の dipping curve の比較を示しているが，本船はビルジキール付であり，トランサム後方には実船相当で約 200 mm 幅のフラップが付いている。抵抗試験時及び自航試験時の running trim の変化は両者が良く一致している。

図示していないが，フラップなしの場合の抵抗試験では，AP の沈下量はフラップ付との差は少いが，FP の浮上量は約 35～45% 大きくなり，フラップが航走中の船の姿勢に大きく影響している。フラップなしの場合の自航試験では，FP の浮上量は抵抗試験時と殆んど差はないが，AP の沈下量は約 12～13% 大きくなっている。

同図には，本線の模型船自航試験時と実船計測時の航走中のトリム角を比較している。last hump より低速域においては，実船のトリム角は模型船に比較して，大きくなっているのが注目され，模型船と実船との相関を考える上で重要な点と思われる。

図 61-1 に示す A 丸の模型船の抵抗試験及び自航試験時の dipping curve では，自航試験時の AP の沈下量が非常に大きく，running trim は約 35～40% 大きくなっている。

ただし，実船と模型船の差は日幸丸ほど大きくないことを図 61-2 は示している。

6.7.3 推進係数 PC

全抵抗係数算定式による γ_{10} から有効馬力の推定が可

能となったので，この EHP を使用して実船の所要主機関馬力を推定するため次に示す推進係数 PC を使用する方法を推奨する。この方法では前項にのべた問題点もそのまま包含した形で実用可能である。

PC の概略値を表 31 に示す。この PC は次の定義により求めたものである。

$$PC=\frac{EHP}{SHP} \quad \cdots\cdots(52)$$

ここに

EHP……模型船の抵抗値を $\Delta C_F=0.4\times10^{-3}$ を使用して換算した 2 次元解析による有効馬力（PS），シェンヘルの摩擦抵抗式を使用

SHP……実船計測による軸馬力（PS）

任意の船の主機関馬力は次式による。

$$SHP=\frac{EHP}{PC} \quad \cdots\cdots(53)$$

ここに

SHP……任意の漁船の主機関馬力（PS）

EHP……全抵抗係数算定式から求めた r_{10} による有効馬力（PS）

PC……表 31 による推進係数

6.7.4　自航要素等の概略値

図 49～53 に示す模型船の自航試験結果並びに実船計測結果による伴流係数 w，推力減少係数 t 並びにプロペラ効率比 η_R を，線図と比較の上，スケグ付船型とスケグなし船型に大別し，更にスケグ付船型についてはスケグ形状の相違を考慮して断面積の大小に区分して，w と η_R の概略値を表 31 に示し，プロペラ設計の資料とした。なお，同表の船型，スケグ形状等の説明図を図 62 に示した。

又，同表には前記の PC も示されているが，w，η_R，及び PC は，何れも船型の相違により，又，速力範囲によって変動することに注意して使用することが望ましい。

7.　結　　論

以上の研究によって得られた成果を要約すると次の通りである。

(1)　高速沿岸漁船の実船全抵抗係数 r_{10} 算定式の作成

試験水槽における模型船の抵抗試験結果を使い，速度領域 $F_{nV}=2.1$（$\Delta=10\,t$ の時 $V_S=18.7$ kt）以内において，低速領域 $F_{nV}=0.7\sim1.2$（$\Delta=10\,t$ の時 $V_S=6.2\sim10.7$ kt）並びに高速領域 $F_{nV}=1.2\sim2.1$（$\Delta=10\,t$ の時 $V_S=10.7\sim18.7$ kt）に分け，夫々の領域について全抵抗係数 $r_{10}=R/\frac{1}{2}\rho V^{2/3}v^2$ を重回帰分析により推定する算定式を作成し，全速度領域にわたって実用上支障のない精度（±7.5%）で抵抗の推定が可能となる式を得た。

(2)　全抵抗係数 r_{10} 推定表の作成

上記算定式を用い，すなわち低速域（$F_{nV}=0.7\sim1.2$）用には全抵抗係数算定式 (16) 式を使用し，高速域（$F_{nV}=1.2\sim2.1$）用には (17) 式を使用して，推定表を作成した。本推定表は高速沿岸漁船の船型要素と抵抗の関係を把握するのに有効であり，又，船型改良に有効に使用しうるものと考えられる。

(3)　全抵抗係数 r_{10} 算定式による船型改良

(2)に述べたように，r_{10} 推定表により抵抗の少い船型要素の組合せを選出することが可能である。

現在の沿岸漁船の漁業種類別の勢力分野を勘案して，底曳網漁船（M-124，設計速力 $F_{nV}=1.6$）及び一本釣漁船（M-125，設計速力 $F_{nV}=1.8$）の船型改良を試みた。前者については比較対象船の在来船（M-92-5）に比較して $F_{nV}=1.6$ において約 27% の抵抗減少を，後者については比較対象船 M-98-5 及び M-100-5 と比較して $F_{nV}=1.8$ において約 23～26%，$F_{nV}=2.0$ において約 23～28% の抵抗減少が期待されることが推定表並びに推定計算で明らかとなった。

(4)　船型改良の確認

M-124 及び M-125 の 2 船型について抵抗試験を実施し船型改良による効果を確認した。

M-124 は計画よりも更に改良効果が顕著となり，M-92-5 に比較し，$F_{nV}=1.6$ 及び 1.8 において夫々約 33% 及び 34% の抵抗減少となった。

M-125 は計画よりも若干改良効果は少くなり，M-98-5 に比較して $F_{nV}=1.6$ 以上で約 17%，M-100-5 に比較しては $F_{nV}=1.6$，1.8 及び 2.0 において夫々約 17%，20% 及び 22% の抵抗減少となった。

これらの船型について波形解析と波紋撮影を行った。これにより，高速沿岸漁船船型の F_n 変化に伴う造波現象の様態が明らかとなり，同時にハードチャイン・トランサム船型の低速域における抵抗成分の分析が必要であることが判明した。

(5)　推進性能の確認

抵抗性能上の船型改良は，最終的には推進性能上の改良に反映されねばならない。推進性能については一般的調査を行った。

実船におけるトルク・スラストを計測し，模型の自航試験からの外挿値と比較した。その結果得られた SHP は，相似模型船による自航試験結果から得られた推進効率を使用し，抵抗試験結果を $\Delta C_F=0.4\times10^{-3}$ として解

析した EHP から求めた SHP に比較して 15～25% 高い値を示すことが明らかとなった。スケグなし船型においては $\Delta C_F = 1.2 \times 10^{-3}$, スケグ付船型においては $\Delta C_F = 2.5 \times 10^{-3}$ とすれば両者が一致することが判明した。これらのことから，実船航走時は模型船自航時よりも船体抵抗が相対的に増加していると推定される。

(6) 船型改良への応用

一般に漁船は安全性の許される限度内で総合的な収益性が最も高くなるよう総合設計されるべきであり，速力性能も燃料油が高騰した現状では総合収益性にかかわる主要素である。

高速型漁船においては速力性能の必要性と収益性について別途論議すべき問題点を含んではいるが，使用目的に応じた高速型漁船の最適船型を見出すための手段として本算定式を使用すれば，種々のきびしい建造上の規制と要求事項を充たした条件の下で，船体抵抗の少い経済船型を容易に求められることになり，船型開発が能率的に行えることが明らかになった。

謝　辞

本研究は当初東京大学名誉教授（現玉川大学教授）乾崇夫先生の指導により，先生退官後は梶谷　尚教授並びに宮田秀明助教授の指導によるものである。

ここに深甚の謝意を表します。又，改良船型の実験は東京大学船型水槽において実施しました。ご尽力いただいた同水槽の久住昇二助手，土屋好寛及び金井　誠技官に対し併せて感謝します。

実船トルク・スラスト計測並びに関係試験結果に関しては，引用することをご許可いただいた FRP 製船舶船型開発委員会（土屋　孟委員長），(財)日本小型船舶工業会並びに(財)日本造船技術センターに対し謝意を表します。

資料作成にご尽力いただいた FRP 漁船研究会第6研究会分科会（土屋　孟委員長）に対し，又，実験並びに資料整備に協力いただいた水産工学研究所漁船工学部の有路　實，山越康行，鈴木四郎，川島敏彦各技官並びに佐藤なみ子事務官に対して深尽の謝意を表します。

おわりに，農林水産研究計算センターを利用させていただいたことを感謝します。

参 考 文 献

1) 土屋　孟：漁船船型の有効馬力に関する統計解析とその実用化について，漁船研究報告第6号，1973

2) 土屋　孟：漁船船型の有効馬力に関する統計解析，日本造船学会論文集第132号，1972

3) 永井　保・田中宏績・吉田　靖：高速艇に関する平水中水槽試験結果の統計解析，日本造船学会論文集，第137号，6，1975

4) 永井　保・田中宏績・吉田　靖：平水中抵抗を最小にする高速艇船型について，西部造船会々報第52号，1976

5) Tagano, H.: Prediction of the Wave Resistance of Ships by Statistical Analysis, Mitsubishi Technical Bulletin No. 90, 1974

6) Doust, D. J., Hayes, J. G. and Tsuchiya, T.: A Statistical Analysis of FAO Resistance Data for Fishing Craft, Third FAO Technical Meeting of Fishing Boats, Goteborg, 1965

7) Traung, J. O., Doust, D. J. and Hayes, J. G.: A New Possibilities for Improvement in the Design of Fishing Vessels, Third FAO Technical Meeting on Fishing Boats, Goteborg, 1965

8) 小林　務・有路　実・鈴木四郎：FRP 製小型漁船の抵抗試験成績について，漁船研究技報第31巻（通巻第70号），1978

9) 小林　務・鈴木四郎・土屋　孟：漁船有効馬力推定表について（全抵抗係数算定式の数表化），漁船研究技報第30巻（通巻第69号），3，1977

10) FRP 製船舶船型開発委員会：小型 FRP 船用馬力推定図表，(財)日本小型船舶工業会，(財)日本造船技術センター，3，1977

11) FRP 製船舶船型開発委員会：FRP 製船舶船型開発委員会報告，(財)日本小型船舶工業会，(財)日本造船技術センター，3，1976

12) 小林　務・藤井　厳：小型 FRP 船型の系統的模型試験結果について，日本造船学会誌第579号，9，1977

13) 小林　務：和船型の船型試験成績，漁船研究技報第11号，1，1958

14) Ootsu, Y., Yokoyama, N. and Kobayashi, T.: Model Test of Small Simplified Boats, Second FAO Technical Meeting of Fishing Boats, 1960

15) Yokoyama, N., Kobayashi, T., Tsuchiya, T. and Kanayama, Y.: Technical Survey of Traditional Japanese Small Fishing Vessel, Third FAO Technical Meeting of Fishing Boats, 1967

16) 谷口　中：所謂「小型船のパーフォーマンス」の悪さに関する研究，造船協会論文集第85号，1952

17) 山県昌夫：船型学（推進篇），天然社，1952

18) 小林　務：FRP 製小型漁船の推進性能について，

漁船研究技報第32巻(通巻第74号), 2, 1979
19) 小林　務：和船型漁船の推進性能並びに耐航性能に関する水槽試験成績について，漁船研究技報第21第4号（通巻第44号），3，1967
21) 小林　務：和船型漁船の推進性能に関する水槽試験ならびに海上試運転成績について，漁船研究技報第21巻第3号（通巻第43号），5，1966
22) FRP 製船舶船型開発委員会：昭和53年度「FRP 製船舶の船型並びに諸基準の調査研究」事業のうち「船型開発」に伴う試験研究報告書，(財)日本小型船舶工業会，(財)日本造船技術センター，3，1979
23) FRP 製船舶船型開発委員会：FRP 製船舶の船型・構造並びに諸標準の調査研究 (1) 報告書および同 (2) 報告書，(財)日本小型船舶工業会，(財)日本造船技術センター，3，1977 および 3，1978
24) 第6研究分科会：11.5 米型一本釣専用漁船の標準設計について（その1，その2，その3），FRP 漁船第45号，第46号，第47号, 6, 7, 9，1976
25) 漁船研究室：陸奥湾ほたて貝採取船の水槽試験成績，FRP 漁船第35号，7，1974
26) 水産庁瀬戸内海漁業調整事務局：瀬戸内海における小型機船底曳網漁業の合理化に関する研究報告書，3，1973
27) 葉室親正・小林　務：瀬戸内海小型底曳網漁船の合理化とモデル設計船，漁船第187号，10，1973
28) 藤井　厳，小林　務：小型 FRP 漁船船型の模型と実船との相関に関する一考察，関西造船協会誌，第176号，3，1980
30) FRP 製船舶船型開発委員会：FRP 製船舶の船型並びに諸基準の調査研究 (4) 報告書，(財) 日本小型船舶工業会，3，1981
31) FRP 製船舶船型開発委員会：小型 FRP 漁船用高速域馬力推定図表，(財)日本小型船舶工業会, 3, 1981
32) Kenneth S. M. Davidson and Anthony Suarez: Test of Twenty Related Models of V-Bottom Motor Boats, E. M. B. SERIE 50 for the David Taylor Model Basin, 10, 1941
33) 丹羽誠一：「高速艇工学」附属チャート，(株)舵社，2，1971
34) 丹羽誠一：高速艇の推進性能の推算について，第8回舟艇技術講演会，(財)舟艇協会，10，1980
35) 丹羽誠一：新高速艇講座・高速艇の抵抗 (2)～(4)，「船舶」，8～9，1981
36) 藤井　厳・小松原信雄・小林　務・土屋　孟・丹羽誠一：小型 FRP 船型の高速域の系統的模型試験結果について，(社)日本造船学会，会誌，11，1981
37) (社)造船協会：造波抵抗シンポジウム・テキスト 6，1965
38) 池畑光尚・野沢和男：波形解析による造波抵抗の算定，造船協会論文集，第121号，
39) 湯室彰規・山崎禎昭・荻原誠功：IHI 船型試験水槽における造波抵抗直接計測の方法，石川島播磨技報，別冊4号，10，1970
40) 武隈克義・馬場栄一：高速艇の流体力学的諸性能に関する研究，三菱重工技報，Vol. 18, No. 3, 5, 1981
41) The Members of the High Speed Marine Vehicle Panel, 16th International Towing Tank Conference : Status of Hydrodynamic Technology as Related to Model Tests of High-speed Marine Vehicles, David W. Taylor Naval Ship Research and Development Center, 7, 1981
42) 大津義徳・松木清四郎・小林　務・吉田伸夫：船型試験成績について（水槽試験成績第2報），漁船研究技報第3号，3，1952
43) 大津義徳・和田正三・川野浩一・小林　務・山下英夫・吉田伸夫：和船型実験船「あかつき」の海上験成績について（小型漁船性能改善研究第2報），漁船研究技報第3号，3，1952
44) 大津義徳・松木清四郎・小林　務・吉田伸夫：船型試験成績について（水槽試験成績第3報），漁船研究技報第4号，12，1953
45) 大津義徳・川野浩一・山下英夫・吉田伸夫：和洋折衷型実験船「ちどり」の海上実験成績について（小型漁船性能改善研究第5報），漁船研究技報第4号，12，1953
46) 小林　務・有路　実・中里芳彦：沿岸小型漁船の母船搭載式沿岸漁業方式の研究（共通研究課題），搭載漁艇の船型に関する研究，漁船研究技報第24巻第4号，3，1970
47) 大隈三彦：中速艇の一設計法，“船の科学” Vol. 32, 4, 1979～Vol. 34, 6, 1981

表1 海水動力漁船の推移 (船質別)

Transition of fishing boat (Concerned type of construction)

年度別 (昭和)	鋼船 S			木船 W			FRP製漁船		
	No.	1000GT	1000PS	No.	1000GT	1000PS	No.	1000GT	1000PS
40年末	4,194	1,237	2,261	212,962	817	3,421	(28)	—	—
41	4,690	1,312	2,498	221,355	817	3,532	(66)	—	—
42	5,127	1,434	2,769	233,956	821	3,691	(207)	—	—
43	5,586	1,497	3,001	243,205	812	3,789	(712)	FRP漁船は，昭和50年末までは木船に含めてある。	
44	6,172	1,572	3,216	247,401	791	3,829	(1,810)		
45	6,578	1,652	3,389	259,074	792	4,001	(3,472)	—	—
46	7,016	1,669	3,559	269,887	795	4,173	(8,503)	—	—
47	7,638	1,734	3,801	280,280	805	4,418	(16,445)	—	—
48	8,743	1,825	4,084	289,686	815	4,713	(28,741)	—	—
49	8,560	1,815	4,147	305,918	827	4,969	(46,239)	—	—
50	8,775	1,797	4,139	337,104	854	5,305	(70,915)	—	—
51	8,921	1,739	4,130	257,888	661	3,918	92,301	216	1,728
52	9,308	1,756	4,204	246,637	627	3,766	117,121	287	2,279
53	9,486	1,701	4,156	230,342	578	3,557	142,729	363	2,903
54	9,663	1,768	4,293	217,262	536	3,359	168,493	445	3,584

表2 昭和54年末現在20トン未満海水漁船 (トン数階層別，船質別)

Under 20 GT class fishing boats at end of 1979 (Concerned size of boat and type of construction)

船型 ＼ 項目		総数 T		鋼船 S		木船 W		FRP船	
		隻数	%	隻数	%	隻数	%	隻数	%
海水動力漁船	総数	386,200	100.0	2,235	0.6	215,916	55.9	168,049	43.5
	5トン未満 0～0.9トン	149,726	38.8	122	0.1	94,610	63.4	54,994	36.7
	5トン未満 1～2.0	144,630	37.4	86	0.1	75,519	52.2	69,025	47.7
	5トン未満 3～4.9	65,628	17.0	293	0.1	32,458	49.5	32,877	50.1
	5トン未満 (5トン未満小計)	359,984	93.2	501	0.1	202,587	56.3	156,896	43.6
	5～20トン 5～9.9	15,211	3.9	370	2.4	7,903	52.0	6,938	45.6
	5～20トン 10～14.9	5,899	1.5	439	7.4	2,973	50.4	2,487	44.2
	5～20トン 15～19.9	5,106	1.3	925	18.1	2,453	48.0	1,728	33.9
	5～20トン (5～20トン小計)	26,216	6.8	1,734	6.6	13,329	50.8	11,153	42.6
海水無動力漁船	総数	38,402	100.0	—	—	20,549	72.4	7,853	27.4
	0～0.9トン	24,916	87.7	—	—	17,525	70.3	7,391	29.7
	1～2.9	2,183	7.7	—	—	1,906	87.3	277	12.7
	3～4.4	725	2.6	—	—	670	92.4	55	7.6
	5～	578	2.0	—	—	448	77.5	130	22.5
合計		414,602	100.0	2,235	0.5	236,456	57.0	175,902	42.5

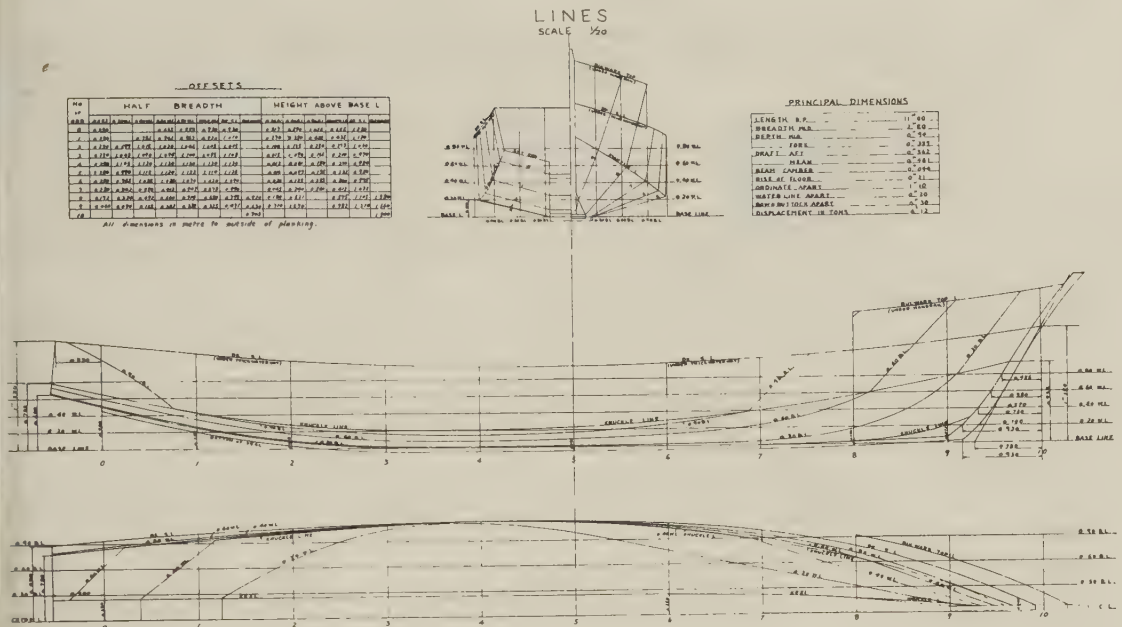


図 1 「あかつき」(あかつきシリーズの母型) 線図
Lines of Akatsuki (mother form of Akatsuki's series)

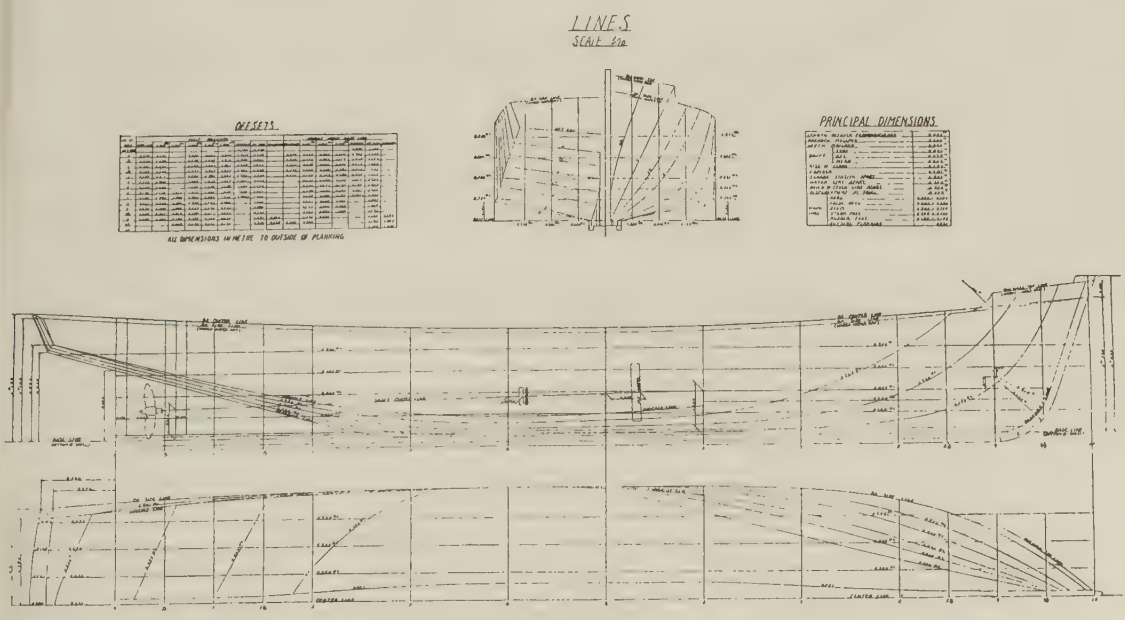


図 2 「ちどり」(ちどりシリーズの母型) 線図
Lines of Chidori (mother form of Chidori's series)

表 3 「あかつき」及び「ちどり」系較統模型船の主要寸法及び船型要素等

Principal dimensions and ship form parameters of Akatsuki's and Chidori's series models

船名			あかつき系統模型船							ちどり系統模型船						
変型			母型			L/B		CM		母型			L/B		CM	
模型船番号			M－8			M－14	M－15	M－24	M－23	M－19			M－25	M－26	M－27	M－28
試験番号			②	⑤	⑧	⑤	⑤	⑤	⑤	②	⑤	⑧	⑤	⑤	⑤	⑤
実船の主要寸法等	L_{OA}	m	12 120			–	–	–	–	9 855			–	–	–	–
	L_{PP}	m	11 000			11.000	11.000	11.000	11.000	9.000			9.000	9.000	9.000	9.000
	L_R	m	11.000			11 000	11.000	11.000	11.000	9000			9.000	9.000	9.000	9.000
	B	m	2 260			2.810	1.890	2.260	2.260	2.060			2.310	1.860	2 060	2 060
	Bc	m	2 220	2 220	2 220	2.756	1 876	2 230	2 234	2.025	2 024	2.023	2.260	1 828	2 020	2 038
	D	m	0.900			0.955	0.955	0.955	0.955	0.900			0.950	0.950	0.950	0.950
	△	t	5 335	6.000	7.000	6.726	5 194	5 850	6.821	3 685	4 500	5.500	5 200	4 160	4 005	4923
	L_{WL}	m	10 440	10.470	10.570	10.570	10.470	10.478	10.570	8 670	8 706	8.733	8 659	8 690	8.705	8.705
	B_{WL}	m	2 260	2 260	2 260	2.810	1 890	2 260	2 260	2.060	2.060	2.060	2 310	1 860	2 060	2 060
	T	m	0.423	0.458	0.512	0 458	0.458	0.458	0.458	0.404	0.472	0.550	0.470	0.475	0475	0.470
	Trim / L_{PP}	%	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	2.07	1.50	1.50	2.07	2 07	1.50	1 50
△=10 t に換算した船型の主要寸法等	L_{OA}	m	14 943	14.370	13 650	–	–	–	–	13.746	12.860	12 028	–	–	–	–
	L_{PP}	m	13 563	13 042	12.389	12 555	13 684	13.152	12.496	12.553	11.745	10.985	11.192	12 056	12 210	11 398
	L_R	m	13.563	13 042	12 389	12 555	13 684	13 152	12 496	12.553	11.745	10.985	11.192	12 056	12 210	11 398
	B	m	2.787	2.680	2.545	3.207	2 351	2.702	2.567	2.873	2 688	2.514	2.873	2492	2.795	2609
	Bc	m	2.737	2.632	2.500	3 145	2.334	2.666	2 538	2.824	2.641	2 469	2.810	2.449	2 740	2 581
	D	m	1.110	1.067	1.014	1.090	1.188	1.142	1 085	1.255	1.174	1.098	1.181	1 273	1 289	1.203
	△	t	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000	10.000
	L_{WL}	m	12 872	12 414	11 904	12 064	13 025	12 528	12 008	12 093	11.361	10.659	10.768	11 641	11.810	11 024
	B_{WL}	m	2 787	2.680	2.545	3.207	2.351	2 702	2.567	2.873	2.688	2514	2.873	2492	2 795	2 609
	T	m	0.522	0.543	0.577	0.523	0.570	0.548	1.085	0.564	0.616	0.671	0.584	0.636	0.644	0.595
主要寸法比	L_R / B		4 867			3 915	5 820	4 867	4 867	4.369			3.896	4 839	4.369	4 369
	L_R / D		12 222			11 518	11 518	11 518	11 518	10 000			9.474	9 474	9 474	9.474
	B / D		2 511			2 942	1.979	2 366	2.366	2.289			2 432	1 958	2.168	2.168
船型要素	$L_{WL} / \nabla^{\frac{1}{3}}$		6 024	5 810	5.572	5.646	6.096	5.863	5.619	5.660	5.317	4.988	5.039	5 448	5 527	5.159
	$B_C / \nabla^{\frac{1}{3}}$		1 281	1 232	1 170	1 472	1.092	1 248	1.188	1.322	1.236	1.156	1,315	1 146	1.283	1.208
	$B_{CT} / \nabla^{\frac{1}{3}}$		0 900	0 866	0 822	1.040	0.757	0.886	0.835	1.038	0.972	0.908	1.040	0895	1016	0.937
	L_{WL} / B_C		4 703	4 716	4 762	3.836	5.582	4.699	4.730	4.821	4.302	4 315	3.832	4 754	4 309	4 271
	B_C / T		5 248	4 874	4 335	6.017	4.096	4.869	4.878	5.012	4 288	3.675	4.809	3 848	4.253	4.336
	C_B		0.447	0.527	0.528	0.466	0.519	0.499	0.575	0.482	0.505	0.531	0.526	0.522	0.450	0.555
	C_P		0.634	0647	0.654	0657	0.638	0.676	0.646	0.596	0.603	0.615	0.650	0.610	0.628	0.625
	C_M		0.705	0.782	0.807	0.710	0.813	0.738	0.890	0.808	0.837	0.863	0.809	0.856	0.717	0.888
	LCB (%)		51.76	50.50	48 89	50.45	50.13	50.27	50.03	50.43	50.97	50.17	49 83	49 71	51 09	50.07
	α_{ins} (°)		2.9	3.25	3.0	5.08	5.81	4.78	5 4	4.3	8.0	3.0	3.9	7 8	7.6	8.3
	$\frac{1}{2}\alpha_E$ (°)		16.5	18 9	16 2	22 3	15.4	18 2	21.0	16.4	18.8	24 0	22.45	17 05	20.9	19.6
	$A_K / A_{\frac{1}{2}}$		0.043	0.037	0.030	0.034	0.043	0.042	0 034	0.028	0.023	0 019	0.022	0.025	0.027	0.021
	B_{CT} / B_C		0.703	0.703	0.703	0.707	0.693	0.710	0.703	0786	0.786	0.786	0.792	0.781	0.792	0.776
	H_{CT} / B_{CT}		0.087	0.087	0.087	0148	0.108	0.146	0.106	0.044	0.044	0.044	0.039	0.046	0.041	0.038

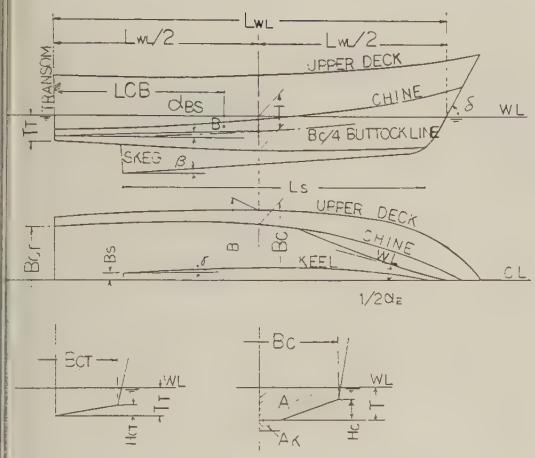


図 3 船型要素の説明図
Illustration of ship form parameters

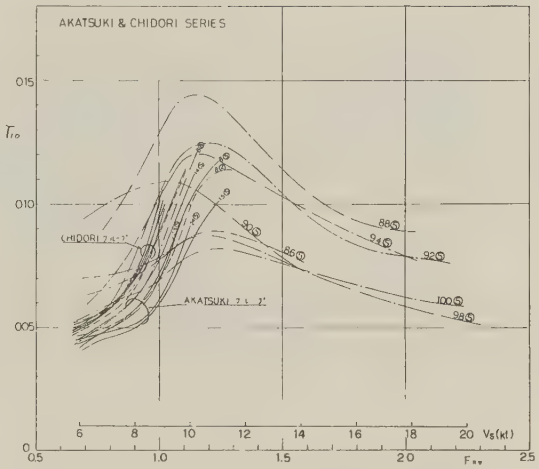


図 4 「あかつき」及び「ちどり」系統模型船と FRP 漁船の r_{10} 曲線比較
Comparison of r_{10} curves between Akatsuki's and Chidori's series models and FRP fishing boat

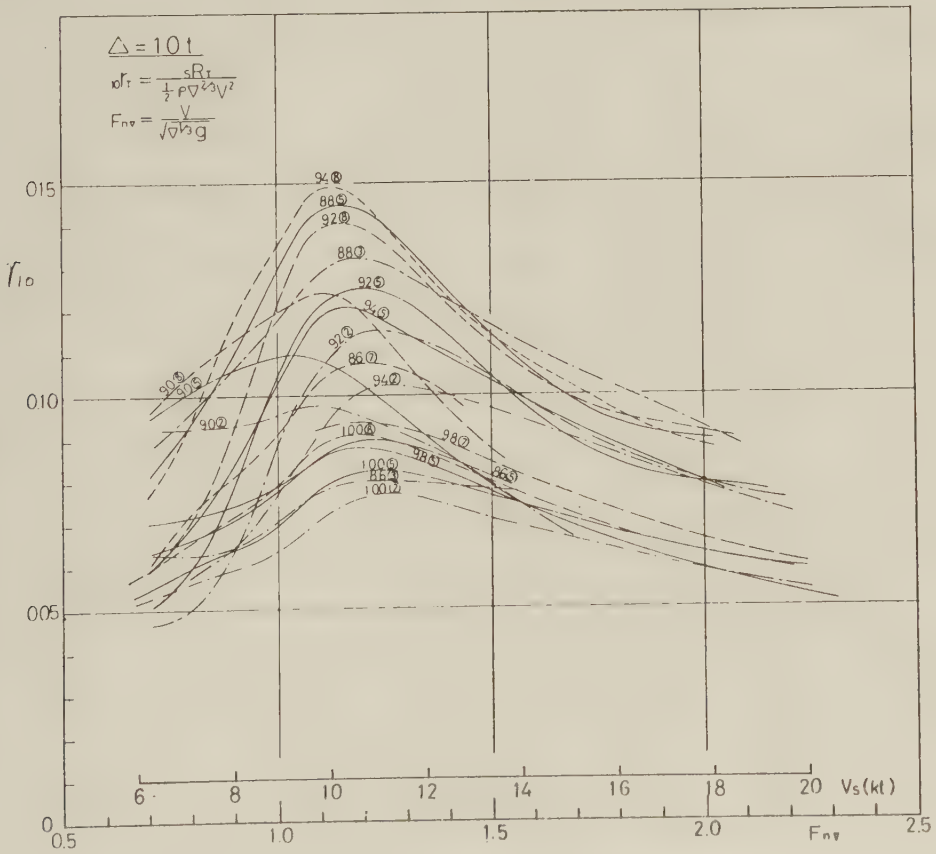


図 11 全抵抗係数 r_{10} 曲線比較
Comparison between many curves of total resistance r_{10}

表 4 実船全抵抗係数比 r_{10} 対象船の主要寸法及び船型要素等

Principal dimensions and ship form parameters of FRP fishing boats

項目			模型船番号 / 試験番号	M－86			M－88		M－90			M－92			M－94			M－98		M－100		
				③	⑤	⑦	③	⑤	②	⑤	⑧	②	⑤	⑧	②	⑤	⑧	⑤	⑦	②	⑤	⑧
実船の主要寸法等	L_{OA}	m		15.850			10.350		13.000			12.950			12.300			14.280		14.200		
	L_{PP}	m		13.000			8.500		10.500			10.500			10.000			11.850		11.500		
	L_R	m		13.000			8.500		10.500			10.500			10.000			11.850		11.500		
	B	m		2.650			2.600		2.550			2.800			2.700			2.260		2.200		
	B_C	m		2.600			2.510		2.520			2.720			2.600			2.260		2.100		
	D	m		1.060			0.700		0.850			1.000			0.760			0.885		0.840		
	△	t		9.00	12.00	15.00	3.25	4.75	5.304	7.50	10.00	6.00	9.00	12.00	4.00	6.50	10.00	7.30	8.60	5.50	7.00	8.50
	L_{WL}	m		14.135	14.250	14.340	9.134	9.285	11.021	11.095	11.176	10.060	11.210	11.300	9.470	10.325	10.860	12.465	12.548	12.420	12.515	12.560
	B_{WL}	m		2.610	2.620	2.640	2.530	2.550	2.520	2.530	2.550	2.740	2.760	2.770	2.640	2.680	2.700	2.260	2.260	2.120	2.127	2.160
	d	m		0.469	0.584	0.704	0.254	0.348	0.501	0.591	0.697	0.451	0.571	0.684	0.273	0.384	0.560	0.370	0.449	0.334	0.403	0.471
	Trim/L_{PP}	%		3.08	1.54	0.0	4.12	2.07	4.10	4.10	4.10	2.38	2.38	2.38	2.00	2.00	2.00	1.39	0.0	1.30	1.30	1.30
△=10 t に換算した船型の主要寸法等	L_{OA}	m		·	·	·	15.054	13.265	·	·	·	15.353	13.412	12.186	16.694	14.199	12.300	·	·	17.331	15.992	14.991
	L_{PP}	m		13.464	12.233	10.868	12.363	10.894	12.972	11.556	10.500	12.449	10.875	9.881	13.572	11.544	10.000	13.161	12.559	14.036	12.951	12.141
	L_R	m		13.464	12.233	10.868	12.363	10.894	12.972	11.556	10.500	12.449	10.875	9.881	13.572	11.544	10.000	13.161	12.559	14.036	12.951	12.141
	B	m		2.745	2.494	2.215	3.782	3.332	3.150	2.806	2.550	3.320	2.900	2.635	3.664	3.117	2.700	2.510	2.395	2.685	2.478	2.323
	B_C	m		2.693	2.447	2.271	3.651	3.217	3.113	2.774	2.520	3.225	2.817	2.600	3.529	3.001	2.600	2.510	2.395	2.563	2.365	2.217
	D	m		1.098	0.997	0.886	1.018	0.897	1.050	0.936	0.850	1.186	1.036	0.941	0.814	0.877	0.760	0.983	0.938	1.025	0.946	0.887
	△	t		10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0	10.0
	L_{WL}	m		14.640	13.409	12.527	13.298	11.900	13.615	12.211	11.176	11.927	11.610	10.633	12.853	11.919	10.860	13.844	13.195	15.159	14.094	13.260
	B_{WL}	m		2.703	2.465	2.306	3.680	3.268	3.113	2.785	2.550	3.249	2.859	2.607	3.583	3.094	2.700	2.510	2.377	2.587	2.395	2.280
	T	m		0.507	0.563	0.615	0.393	0.474	0.655	0.672	0.718	0.590	0.684	0.716	0.380	0.473	0.580	0.385	0.473	0.391	0.450	0.491
主要寸法比	L_R/B			4.906			3.269		4.118			3.750			3.704			5.243		5.227		
	L_R/D			12.264			12.143		12.352			10.500			13.158			13.390		13.690		
	B/D			2.500			3.714		3.000			2.800			3.553			2.554		2.619		
船型要素	$L_{WL}/\nabla^{\frac{1}{3}}$			6.852	6.276	5.863	6.224	5.570	6.372	5.571	5.230	5.582	5.434	4.977	6.017	5.578	5.082	6.485	6.172	7.094	6.597	6.206
	$B_C/\nabla^{\frac{1}{3}}$			1.260	1.148	1.065	1.709	1.506	1.457	1.265	1.179	1.509	1.318	1.198	1.652	1.405	1.217	1.176	1.112	1.199	1.109	1.038
	$B_{CT}/\nabla^{\frac{1}{3}}$			1.202	1.092	1.014	1.586	1.398	1.457	1.265	1.179	1.326	1.159	1.053	1.588	1.351	1.170	1.133	1.071	1.097	1.012	0.949
	L_{WL}/B_C			5.437	5.708	5.699	3.643	3.699	4.373	4.403	4.435	3.699	4.121	4.154	3.642	3.971	4.177	5.515	5.552	6.937	6.953	6.978
	B_C/T			5.306	4.348	3.693	9.296	6.784	4.755	4.131	3.510	5.462	4.121	3.627	9.286	6.341	4.483	5.870	5.022	5.625	4.500	3.871
	C_B			0.462	0.506	0.532	0.417	0.485	0.378	0.446	0.500	0.401	0.412	0.483	0.516	0.534	0.557	0.480	0.506	0.500	0.548	0.583
	C_P			0.596	0.620	0.636	0.616	0.620	0.494	0.560	0.606	0.553	0.534	0.602	0.663	0.636	0.622	0.655	0.668	0.677	0.703	0.722
	C_M			0.776	0.816	0.838	0.725	0.782	0.766	0.797	0.825	0.725	0.773	0.803	0.778	0.839	0.895	0.733	0.757	0.738	0.780	0.808
	LCB (%)			48.88	51.56	53.63	46.31	50.23	51.22	50.01	52.27	49.03	47.31	46.13	50.72	47.90	45.89	43.92	47.32	50.75	49.41	48.48
	α_{BS}			3.4	4.0	4.9	1.5	2.75	1.0	1.0	1.0	4.1	4.8	4.9	3.0	3.5	3.5	1.5	2.4	2.0	2.0	2.0
	$\frac{1}{2}\alpha_E$ (°)			14.5	19.0	25.7	31.5	33.5	16.0	18.5	19.5	13.1	14.0	17.0	12.4	16.9	22.5	24.3	25.3	19.0	20.0	20.5
	$A_K/A_{L/2}$			0.040	0.031	0.026	0.073	0.049	0.030	0.025	0.021	0.061	0.043	0.036	0.104	0.065	0.043	0.054	0.047	0.268	0.209	0.172
	B_{CT}/B_C			0.954	0.952	0.952	0.928	0.928	1.000	1.000	1.000	0.879	0.879	0.879	0.962	0.962	0.962	0.933	0.933	0.794	0.794	0.794
	H_{CT}/B_{CT}			0.026	0.026	0.026	0.043	0.043	0.0	0.0	0.0	0.021	0.021	0.021	0.016	0.016	0.016	0.026	0.026	0.070	0.070	0.070

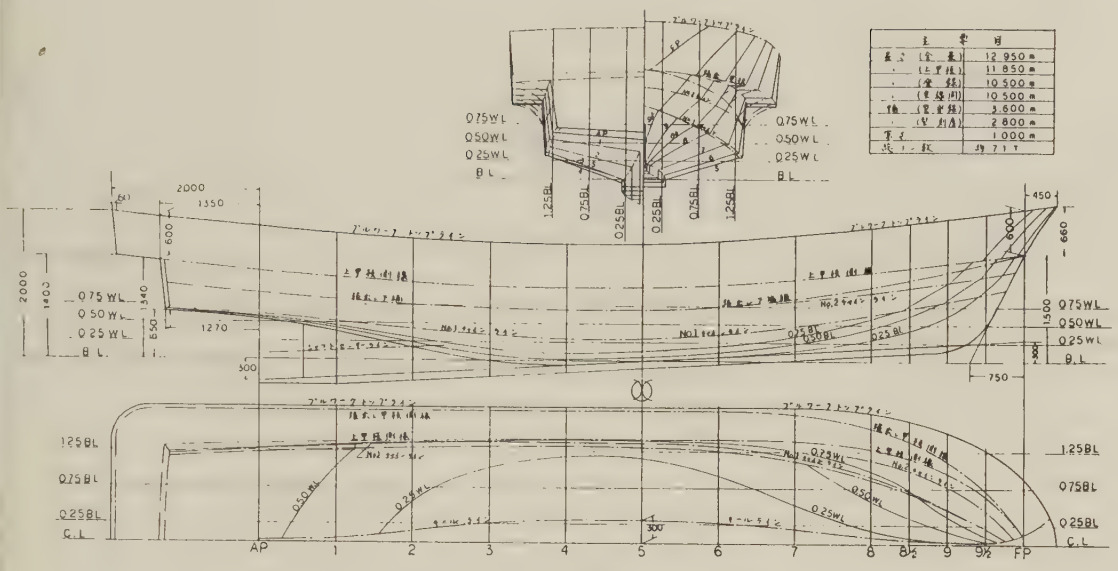


図 5 M-92 線図（瀬戸内海小型底曳網漁船）

Lines of M 92 (Small trawler on the Inland Sea of Seto)

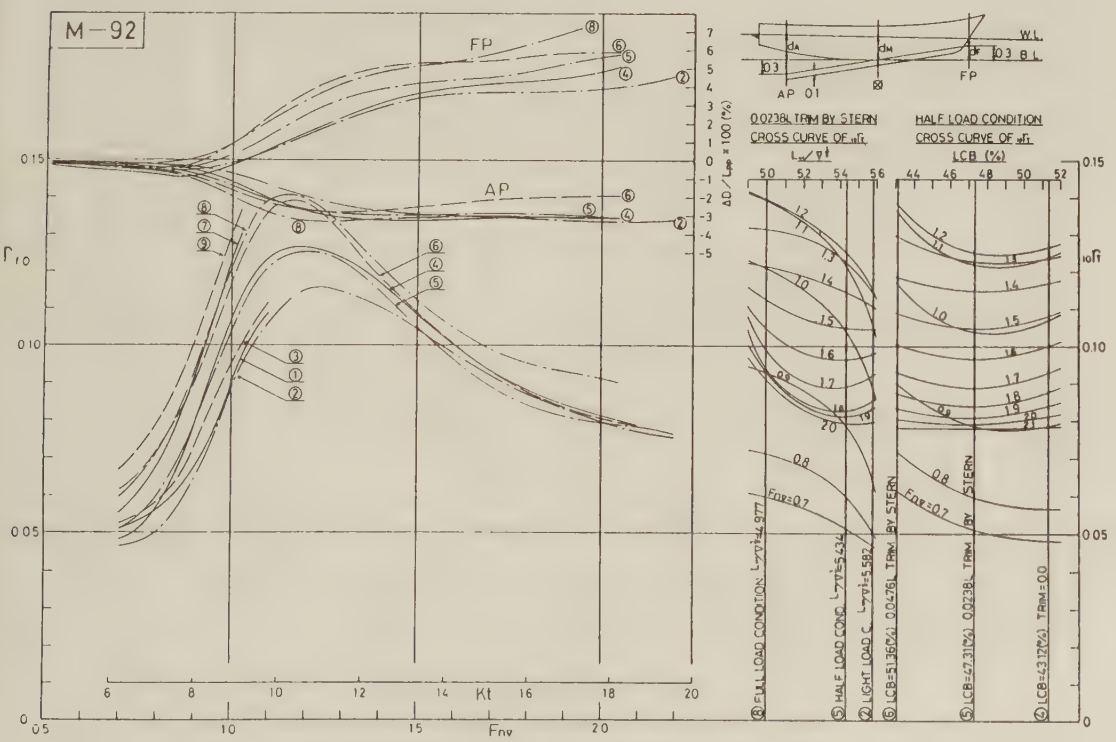


図 6 M-92 全抵抗係数 r_{10} 曲線等

Curves of total resistance coefficient r_{10} for M 92

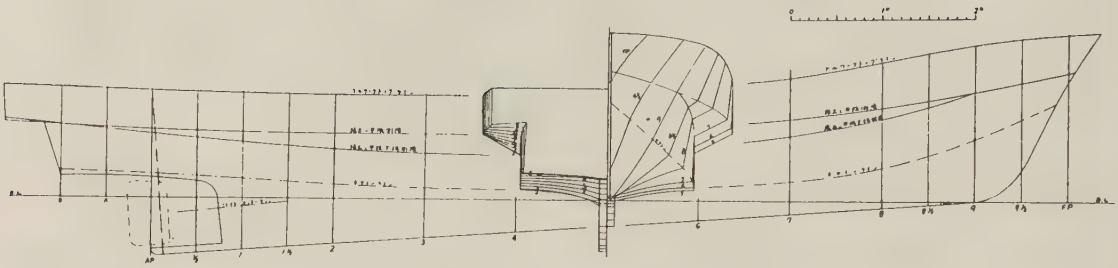


図 7 M-98 線図（和歌山県曳網釣漁船・海幸丸）
Lines of M-98 (trolling boat in Wakayama pref.; Kaiko-maru)

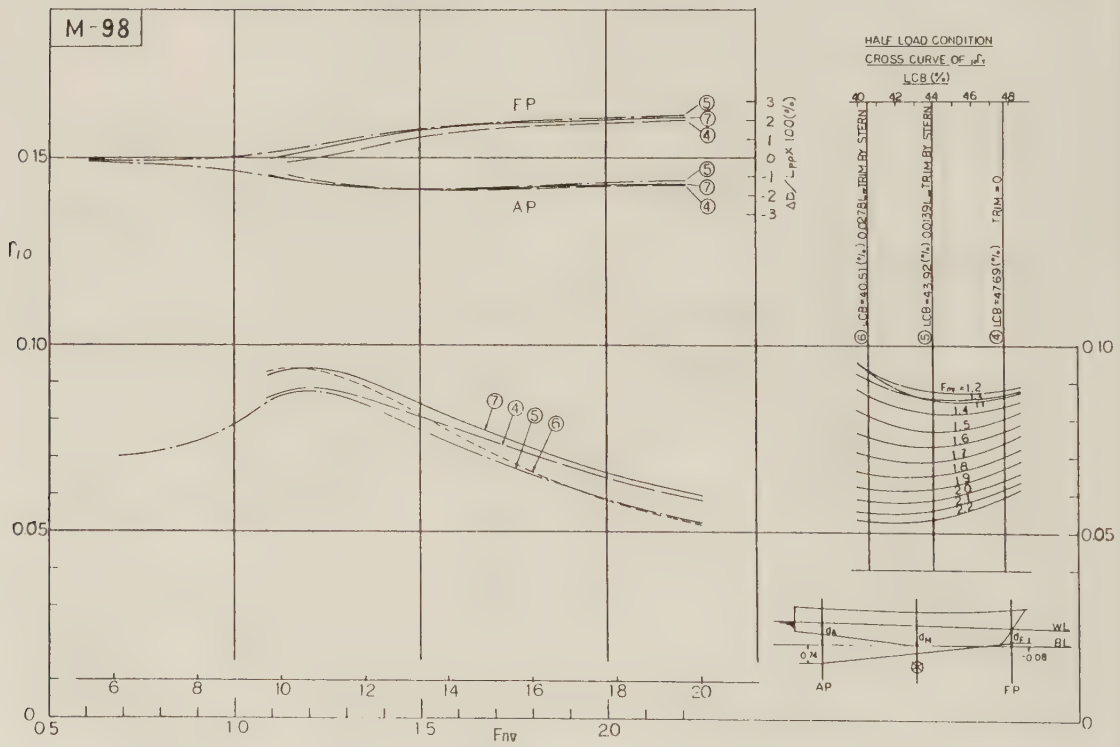


図 8 M-98 全抵抗係数 r_{10} 曲線等
Curves of total resistance coefficient r_{10} for M-98

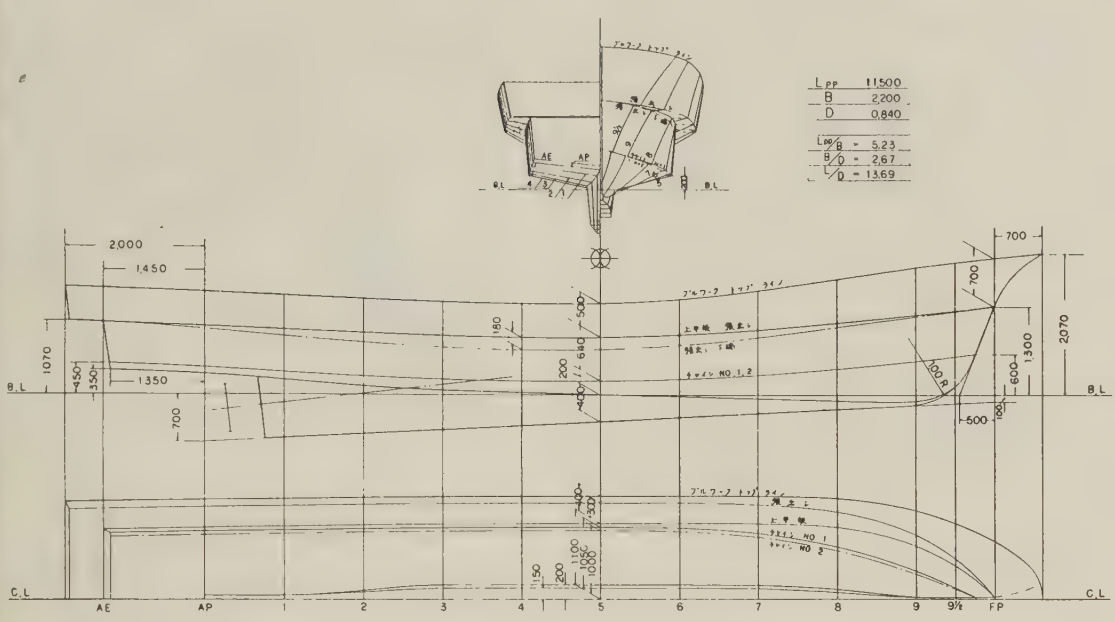


図 9 M-100 線図 (11.5 m 型一本釣専用漁船)

Line of M-100 (11.5 m type pole and line fishing boat)

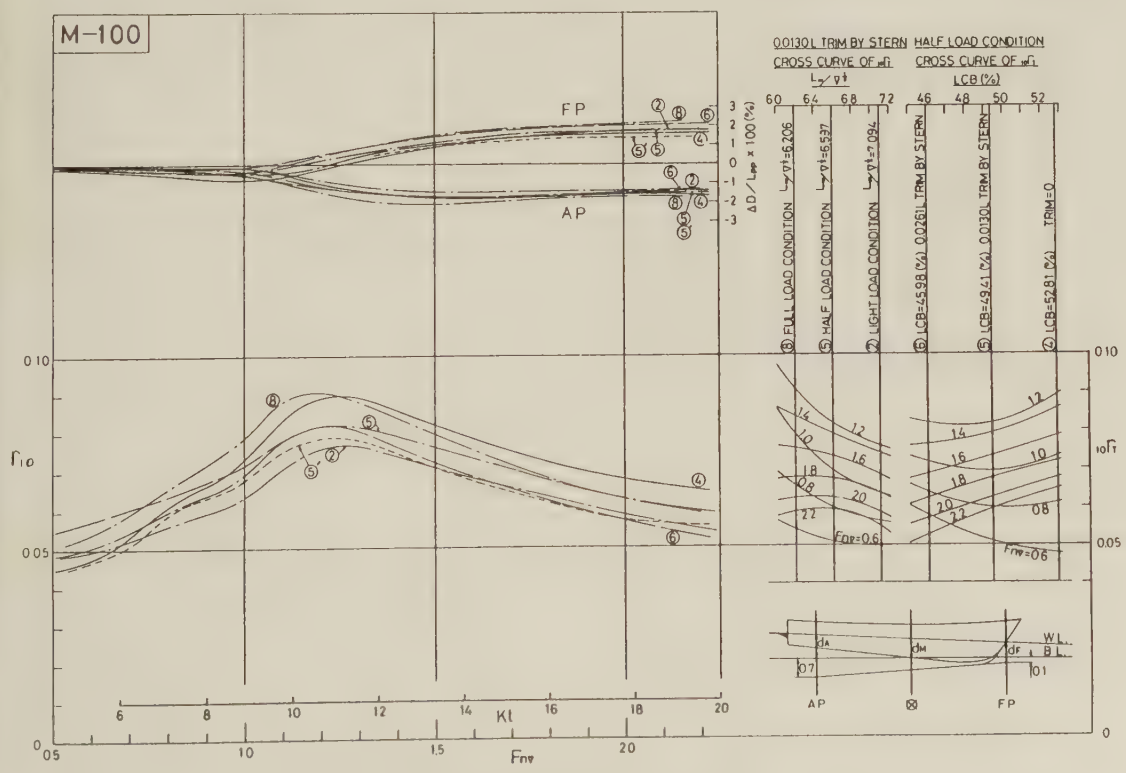


図 10 M-100 全抵抗係数 γ_{10} 曲線等

Curves of total resistance coefficient γ_{10} for M-100

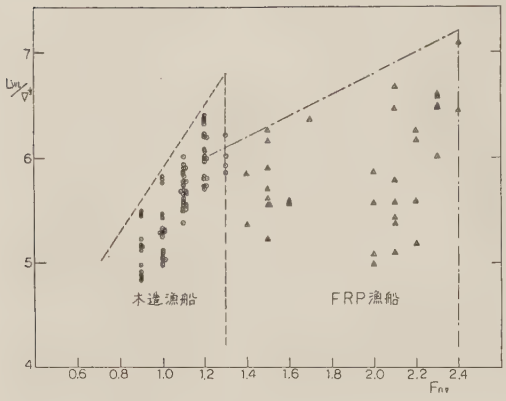


図 12 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ と $F_{n\nabla}$ の上限値
Upper limit of $L_{WL}/\nabla^{1/3}$ and $F_{n\nabla}$

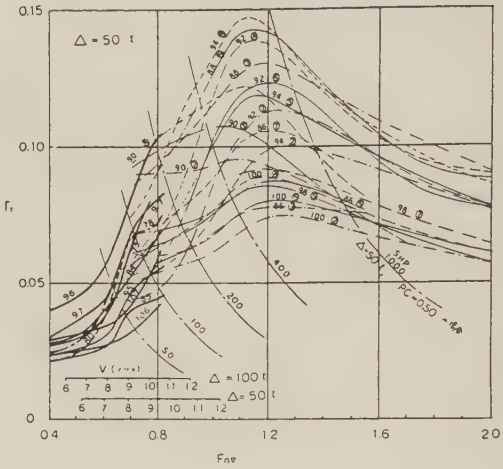


図 13 丸型排水量型漁船及びハードチャイン型漁船の全抵抗係数 γ_T の比較曲線図
Comparison of total resistance curves between round-displacement type fishing boat and hard chine type fishing boat

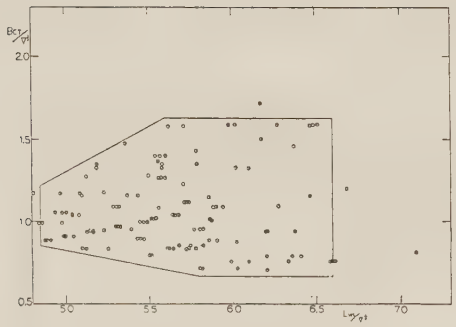


図 14-1 船型要素の2次元的分布（8要素）
Two dimensional distribution of ship form parameters (8 parameters)

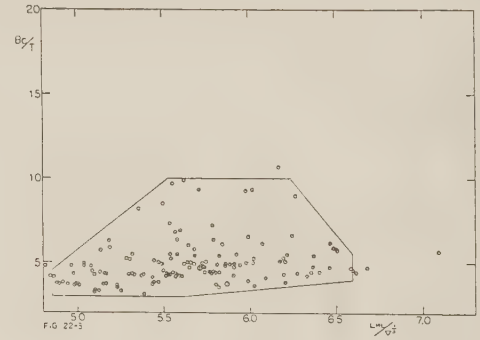


図 14-3

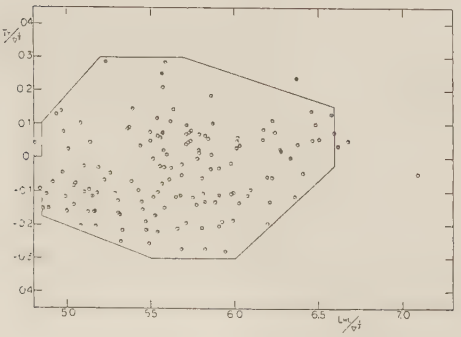


図 14 2

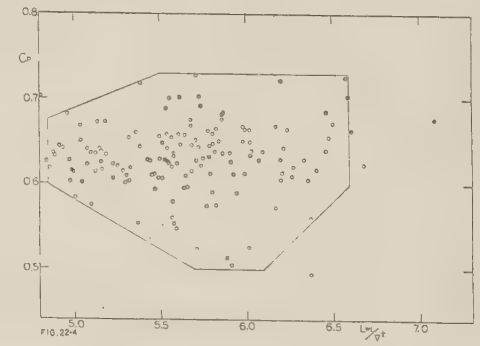


図 14-4

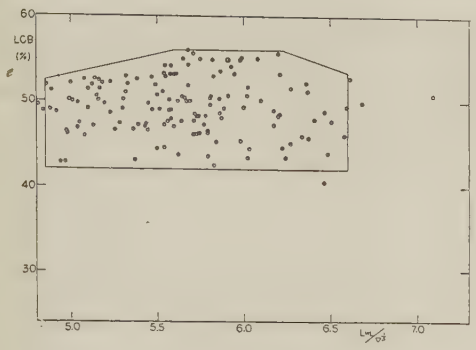


図 14-5

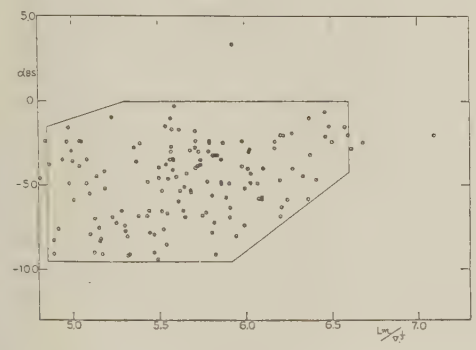


図 14-6

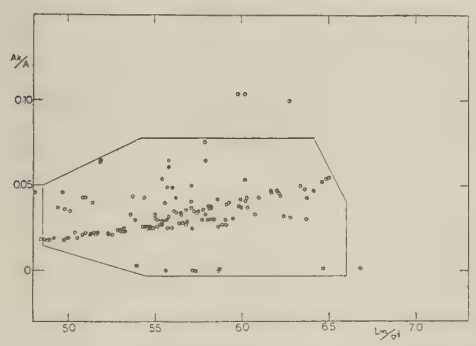


図 14-7

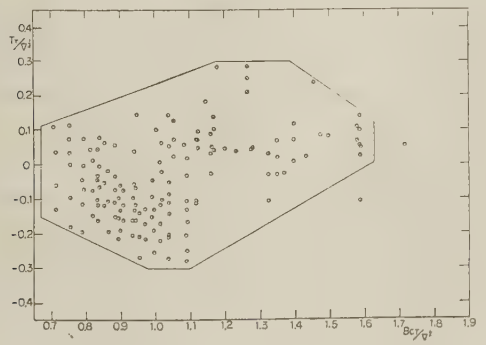


図 14-8

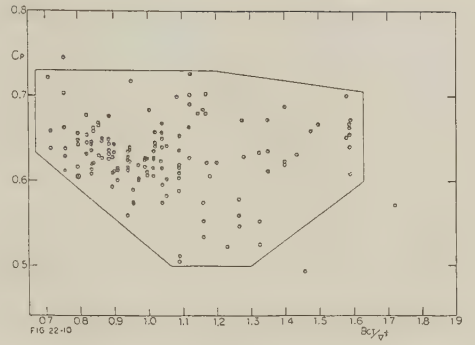


図 14-9

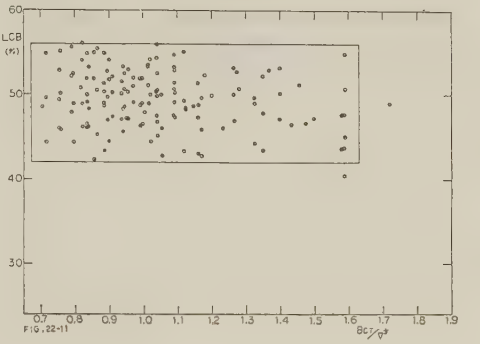


図 14-10

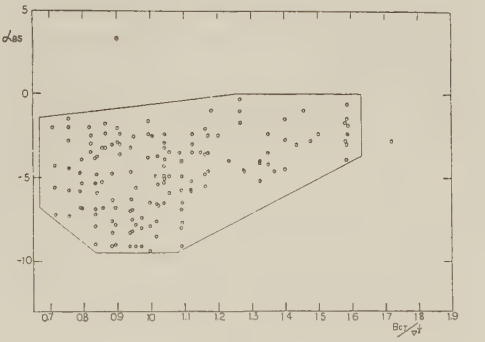


図 14-11

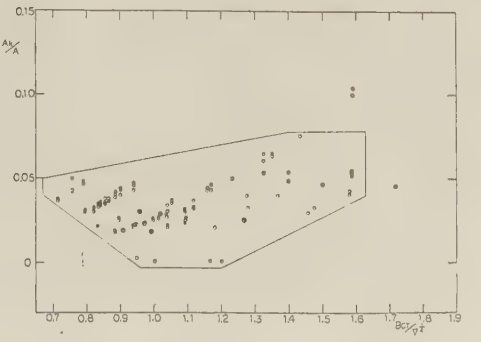


図 14-12

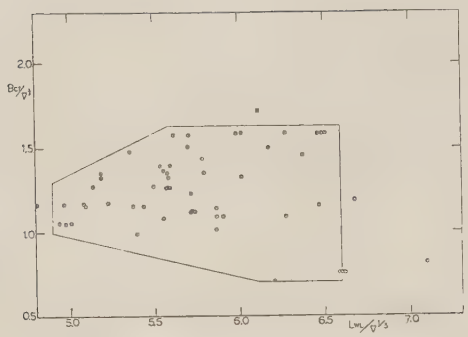


図 15-1 船型要素の2次元的分布（4要素）
Two dimensional distribution of ship form parameters (4 parameters)

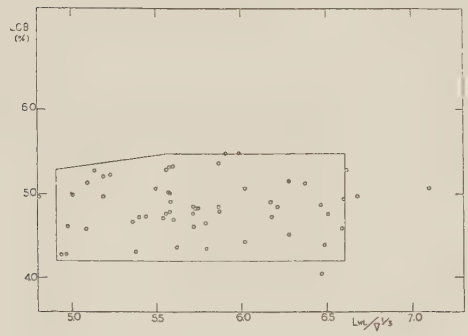


図 15-2

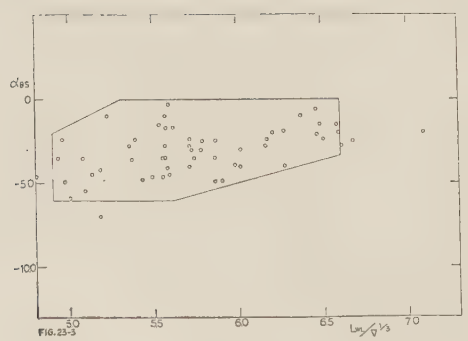


図 15 3

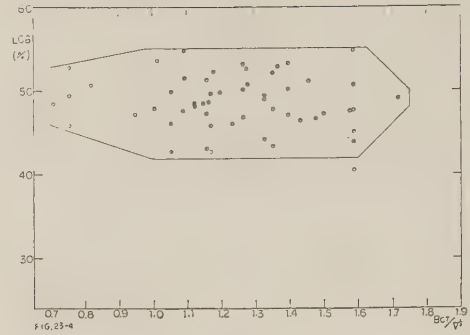


図 15-4

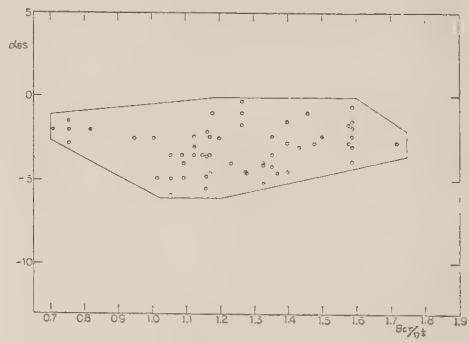


図 15-5

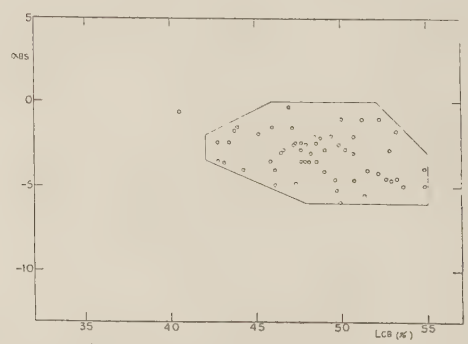


図 15-6

表 6　$F_{nv}=0.7\sim1.2$ の回帰定数及び偏回帰係数〔(16)式〕

Regression constant and partical regression coefficient at $F_{nv}=0.7\sim1.2$ [formula (16)]

NO.		COEFFICIENT Fnv 0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
0	ACTUAL (Y)						
1	X1=XLPVOL	-0.72032E+00	-0.15753E+01	-0.51053E+01	-0.11992E+02	-0.18510E+02	-0.19093E+02
2	X2=BCTVOL	0.12116E+02	0.14064E+02	0.16631E+02	0.16711E+02	0.98198E+01	-0.13594E+02
3	X3=TTPVOL	0.77864E+01	0.11485E+02	0.11503E+02	0.85464E+01	0.10859E+01	0.25680E+02
4	X4=BCPT	-0.90400E+01	-0.10587E+02	-0.11443E+02	-0.10935E+02	-0.69570E+01	0.12983E+02
5	X5=CP	0.27232E+01	0.36042E+01	0.33106E+01	0.67291E+00	-0.11250E+01	-0.58116E+01
6	X6=XLCB	0.33861E+01	0.48815E+01	0.48928E+01	0.35020E+01	-0.23884E+00	0.28220E+01
7	X7=ALFBS	0.37135E+01	0.26875E+01	0.24937E+01	0.18158E+01	0.60400E+01	0.99597E+01
8	X8=AKPA	0.19309E+01	-0.24348E+00	-0.41813E+00	0.10376E+01	-0.27669E+01	0.99554E+01
9	X9=XLPVOL**2	0.59266E+01	-0.89259E+01	-0.11963E+01	0.26966E+01	0.28937E+02	0.33569E+02
10	X10=BCTVOL**2	-0.21486E+02	-0.17294E+02	-0.17581E+02	-0.13216E+02	-0.23130E+01	0.32917E+02
11	X11=TTPVOL**2	0.10661E+02	0.11053E+02	0.11465E+02	-0.45854E+02	0.63176E+00	-0.76529E+02
12	X12=BCPT**2	0.20071E+02	0.15239E+02	0.10160E+02	-0.18734E+01	-0.12082E+02	-0.48028E+02
13	X13=CP**2	-0.52798E+01	-0.71440E+01	-0.10925E+02	-0.15201E+02	-0.17628E+02	-0.55364E+01
14	X14=XLCB**2	-0.33920E+01	-0.26870E+01	0.26874E+00	0.31194E+01	0.10156E+02	0.23937E+01
15	X15=ALFBS**2	-0.16371E+01	-0.44515E+01	-0.69474E+01	-0.50425E+01	0.14449E+02	0.20808E+02
16	X16=AKPA**2	-0.51170E+02	-0.55843E+02	-0.45301E+02	-0.37052E+02	-0.28010E+02	-0.93588E+01
17	X17=XLPVOL*BCTVOL	0.84312E+00	-0.21751E+02	-0.23191E+02	0.11021E+02	0.55307E+02	0.19143E+03
18	X18=XLPVOL*TTPVOL	-0.43645E+02	-0.47453E+02	-0.60576E+02	-0.84301E+02	-0.17028E+01	-0.64953E+02
19	X19=XLPVOL*BCPT	-0.31209E+02	-0.13251E+02	-0.51993E+01	-0.15340E+02	-0.27987E+02	-0.70006E+02
20	X20=XLPVOL*CP	-0.18500E+02	-0.30969E+02	-0.27991E+02	-0.25384E+02	-0.28839E+02	-0.24744E+02
21	X21=XLPVOL*XLCB	-0.65488E+01	-0.16332E+01	0.12220E+01	-0.19254E+02	-0.18748E+02	-0.35293E+02
22	X22=XLPVOL*ALFBS	0.17617E+02	0.20111E+02	0.30519E+02	0.40739E+02	-0.84409E+02	-0.18016E+03
23	X23=XLPVOL*AKPA	0.81986E+02	0.10175E+03	0.77312E+02	0.69478E+02	0.73174E+02	0.21956E+02
24	X24=BCTVOL*TTPVOL	0.21934E+02	0.56807E+02	0.86966E+02	0.13182E+03	0.10697E+03	0.35476E+02
25	X25=BCTVOL*CP	-0.19675E+02	-0.21169E+02	-0.26735E+02	-0.16650E+02	-0.42502E+01	0.10589E+02
26	X26=BCTVOL*XLCB	0.79411E+01	0.14297E+02	0.23588E+02	0.48699E+02	0.76184E+02	0.48680E+02
27	X27=BCTVOL*ALFBS	0.19476E+02	0.21181E+01	-0.11014E+02	-0.19873E+02	0.22987E+02	-0.62443E+01
28	X28=BCTVOL*AKPA	-0.11025E+01	0.78548E+01	0.51053E+01	-0.78644E+01	-0.16571E+02	-0.46073E+02
29	X29=TTPVOL*CP	0.19869E+02	0.38360E+02	0.46542E+02	0.55385E+02	0.24586E+02	-0.86112E+02
30	X30=TTPVOL*XLCB	-0.49745E+02	-0.57128E+02	-0.57219E+02	-0.76453E+02	-0.19374E+02	-0.24503E+02
31	X31=TTPVOL*ALFBS	0.48508E+02	0.34481E+02	0.18340E+02	0.21008E+02	-0.10446E+03	-0.17500E+03
32	X32=TTPVOL*AKPA	0.46778E+02	0.79164E+02	0.82906E+02	0.53576E+02	0.85401E+02	-0.28233E+02
33	X33=CP*XLCB	0.15842E+01	0.67682E+01	0.25157E+02	0.35766E+02	0.34816E+02	0.54197E-01
34	X34=CP*ALFBS	0.84679E+01	-0.11082E+00	0.13978E+02	0.15529E+02	0.32512E+02	0.10521E+03
35	X35=XLCB*ALFBS	0.14309E+02	0.30899E+01	-0.74507E+01	-0.12755E+02	-0.76332E+02	-0.91981E+02
	CONST	0.46019E+01	0.53096E+01	0.62945E+01	0.82896E+01	0.10508E+02	0.11713E+02

表 5 船型要素の平均値ならびに標準偏差
Mean value and standard deviation of ship form parameters

$F_{n\nabla}$	0.7～1.2		1.2～2.1	
船型要素	平均値	標準偏差	平均値	標準偏差
$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	5.6594	0.45523	5.7616	0.51928
$B_{CT}/\nabla^{1/3}$	1.0445	0.20530	1.2352	0.18418
$T_T/\nabla^{1/3}$	−0.04383	0.17159		
B_C/T	4.9755	1.3865		
C_P	0.6299	0.04258		
LCB	49.418	3.3214	48.542	3.2422
α_{BS}	−4.6511	2.3374	−3.0705	1.3145
A_K/A	0.03995	0.03733		

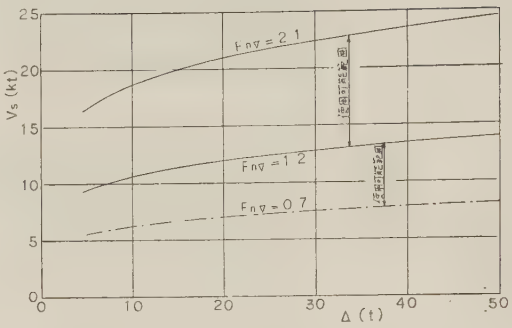


図 16 算定式使用可能な速力の範囲
Range of speed for calculating formula

表 7 $F_{n\nabla}=1.2\sim2.1$ の回帰定数及び偏回帰係数〔(17) 式〕
Regression constant and partial regression coefficient at $F_{n\nabla}=1.2\sim2.1$ [formula (17)]

NO.		COEFFICIENT Fnv 1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
1	X1=XLPVOL	-0.20508E+02	-0.16017E+02	-0.12884E+02	-0.11623E+02	-0.12246E+02
2	X2=BCTVOL	0.43944E+01	0.26666E+01	0.27639E+01	0.37829E+01	0.36397E+01
3	X3=XLCB	-0.26404E+01	-0.25380E+01	-0.20803E+01	-0.18421E+01	-0.26726E+01
4	X4=ALFBS	-0.69862E-01	-0.24174E+01	-0.34504E+01	-0.35138E+01	-0.24284E+01
5	X5=XLPVOL**2	0.28994E+02	0.75536E+01	-0.39610E+00	-0.44382E+00	-0.38138E+01
6	X6=BCTVOL**2	-0.40640E+01	-0.19110E+01	-0.13318E+01	-0.92432E+00	0.13535E+02
7	X7=XLCB**2	0.14283E+02	0.16071E+02	0.10901E+02	0.80275E+01	-0.30414E+01
8	X8=ALFBS**2	-0.13272E+02	-0.19157E+02	-0.20580E+02	-0.20984E+02	-0.45503E+02
9	X9=XLPVOL*BCTVOL	-0.19964E+02	0.25365E+01	0.25587E+01	-0.32851E+01	-0.66147E+02
10	X10=XLPVOL*XLCB	0.40901E+02	0.40302E+02	0.34029E+02	0.35192E+02	0.43864E+02
11	X11=XLPVOL*ALFBS	-0.28035E+01	0.15608E+02	0.19085E+02	0.23386E+02	0.26354E+02
12	X12=BCTVOL*XLCB	0.23784E+02	0.97025E+01	0.80115E+01	0.58677E+01	0.22274E+02
13	X13=BCTVOL*ALFBS	0.11042E+02	-0.14294E+02	-0.14777E+02	-0.26344E+02	0.58002E+02
14	X14=XLCB*ALFBS	-0.31166E+02	-0.19180E+02	-0.20957E+02	-0.21479E+02	-0.54521E+02
	CONST	0.10787E+02	0.10583E+02	0.10112E+02	0.94610E+01	0.89640E+01

NO.		COEFFICIENT Fnv 1.7	1.8	1.9	2.0	2.1
1	X1=XLPVOL	-0.14074E+02	-0.12668E+02	-0.12097E+02	-0.11469E+02	-0.62262E+01
2	X2=BCTVOL	0.60857E+01	0.56028E+01	0.54063E+01	0.59176E+01	0.45164E+01
3	X3=XLCB	-0.69613E+01	-0.70962E+01	-0.64295E+01	-0.59926E+01	-0.87962E+01
4	X4=ALFBS	-0.14879E+01	-0.28212E+01	-0.18264E+01	-0.13287E+01	-0.11425E+02
5	X5=XLPVOL**2	0.64095E+02	0.56643E+02	0.51048E+02	0.13351E+02	0.88841E+01
6	X6=BCTVOL**2	0.51667E+02	0.52660E+02	0.48553E+02	0.38622E+02	0.41394E+02
7	X7=XLCB**2	-0.18492E+02	-0.20311E+02	-0.19294E+02	-0.31448E+02	-0.38751E+02
8	X8=ALFBS**2	0.53864E+02	0.29808E+02	0.32375E+02	-0.10143E+01	-0.44423E+02
9	X9=XLPVOL*BCTVOL	-0.11231E+03	-0.11533E+03	-0.11813E+03	-0.15985E+03	-0.10095E+03
10	X10=XLPVOL*XLCB	0.19473E+01	0.58010E+01	0.68270E+01	0.53375E+02	0.66780E+02
11	X11=XLPVOL*ALFBS	-0.13318E+03	-0.10851E+03	-0.10034E+03	-0.24960E+02	-0.67330E+01
12	X12=BCTVOL*XLCB	0.11556E+02	0.15473E+02	0.19988E+02	0.52509E+02	0.15712E+02
13	X13=BCTVOL*ALFBS	0.95299E+02	0.10327E+03	0.11882E+03	0.16553E+03	0.52607E+02
14	X14=XLCB*ALFBS	-0.26523E+02	-0.36689E+02	-0.28747E+02	-0.69046E+02	-0.11545E+03
	CONST	0.79047E+01	0.75039E+01	0.71882E+01	0.70030E+01	0.67326E+01

表 8 全抵抗係数算定式の精度

Accuracy of calculating formula for total resistance coefficients

船型要素	F_{nV} / V_S(Kt) / 項目	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8	1.9	2.0	2.1
		6.25	7.15	8.04	8.93	9.83	10.72		12.51	13.40	14.29	15.19	16.08	16.97	17.87	18.76
$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	重相関係数	0.937	0.940	0.939	0.938	0.896	0.947									
$B_{CT}/\nabla^{1/3}$	〃 (自由度修正)	0.911	0.918	0.917	0.907	0.770	0.730									
$T_T/\nabla^{1/3}$	データ総数	146	〃	〃	〃	〃	〃									
B_C/T	演算データ数	141	143	143	135	106	68									
C_P	式の項数	36	〃	〃	〃	〃	〃									
LCB	誤差 $\lvert\varepsilon\rvert$ 発生数 $10<\lvert\varepsilon\rvert$(%)	35	42	36	23	17	3									
α_{BS}	$7.5<\lvert\varepsilon\rvert<10$	29	21	14	18	11	10									
A_K/A	$5<\lvert\varepsilon\rvert<7.5$	21	17	22	22	20	12									
	$2.5<\lvert\varepsilon\rvert<5$	26	24	28	21	26	17									
(8)	$\lvert\varepsilon\rvert<2.5$	30	39	43	51	31	26									
	重相関係数						0.874	0.936	0.942	0.940	0.953	0.981	0.980	0.979	0.982	0.994
	〃 (自由度修正)						0.771	0.847	0.854	0.833	0.799	0.891	0.868	0.866	0.870	0.861
	データ総数						56	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	演算データ数						47	39	38	36	29	25	24	24	23	19
$B_{CT}/\nabla^{1/3}$	式の項数						15	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃	〃
LCB	誤差 $\lvert\varepsilon\rvert$ 発生数 $10<\lvert\varepsilon\rvert$ (%)						11	5	4	3	2	0	1	0	0	0
α_{BS}	$7.5<\lvert\varepsilon\rvert<10$						7	1	1	2	3	1	0	1	1	1
	$5<\lvert\varepsilon\rvert<7.5$						11	9	8	9	4	2	2	2	4	0
	$2.5<\lvert\varepsilon\rvert<5$						7	9	10	5	5	7	6	7	2	5
(4)	$\lvert\varepsilon\rvert<2.5$						11	15	15	17	15	15	15	14	16	13

表 9-1 偏回帰係数の t 検定表 $\left[|t(\alpha)| \geqq 2.0 \text{ を示す。但し} \begin{cases} (\ ) \text{内} & 2.0 > |t(\alpha)| > 1.5 \\ * \text{印} & 1.5 > |t(\alpha)| > 1.0 \\ \text{ブランク} & 1.0 > |t(\alpha)| \end{cases}\right]$

Table of t-test for partial regression coefficients [formula (16)]

変数 \ F_{nf}	0.7	0.8	0.9	1.0	1.1	1.2
$X_1 = XLPVOL$		*	−3.85	−8.03	−6.10	−3.74
$X_2 = BCTVOL$	7.58	8.40	8.82	8.15	3.26	−2.11
$X_3 = TTPVOL$	3.51	4.92	4.38	2.97		(1.86)
$X_4 = BCPT$	−5.00	−5.62	−5.39	−4.68	(−1.74)	(1.97)
$X_5 = CP$	2.61	3.35	2.73			(−1.63)
$X_6 = XLCB$	3.74	5.05	4.50	2.90		
$X_7 = ALFBS$	2.81	(1.96)	(1.61)	*	(1.54)	*
$X_8 = AKPA$						*
$X_9 = X_1^2$					*	*
$X_{10} = X_2^2$	(−1.90)	(−1.44)	*			*
$X_{11} = X_3^2$	2.45	2.49	2.29	*		
$X_{12} = X_4^2$	3.16	2.25	*			−2.83
$X_{13} = X_5^2$		*	(−1.74)	−2.19	(−1.68)	
$X_{14} = X_6^2$						
$X_{15} = X_7^2$						
$X_{16} = X_8^2$	−3.34	−4.39	−3.17	−2.31	*	
$X_{17} = X_1 \times X_2$		*			*	2.32
$X_{18} = X_1 \times X_3$	(−1.93)	−2.09	−2.37	−2.79		
$X_{19} = X_1 \times X_4$	(−1.59)					(−1.53)
$X_{20} = X_1 \times X_5$	(−1.73)	−2.92	−2.35	−1.80	*	
$X_{21} = X_1 \times X_6$				*		
$X_{22} = X_1 \times X_7$	(1.61)	(1.73)	2.33	2.39	*	(−1.98)
$X_{23} = X_1 \times X_8$	2.95	4.95	3.34	2.66	2.20	
$X_{24} = X_2 \times X_3$		2.07	2.82	3.91	(1.90)	
$X_{25} = X_2 \times X_5$	(−1.84)	(−1.85)	−2.08	*		
$X_{26} = X_2 \times X_6$		*	(1.99)	3.81	3.20	
$X_{27} = X_2 \times X_7$						
$X_{28} = X_2 \times X_8$						*
$X_{29} = X_3 \times X_5$	*	2.01	2.17	2.35		
$X_{30} = X_3 \times X_6$	−3.05	−3.28	−2.92	−2.95		
$X_{31} = X_3 \times X_7$	3.07	2.05			(−1.87)	*
$X_{32} = X_3 \times X_8$	(1.54)	2.45	2.28	*	*	
$X_{33} = X_5 \times X_6$			2.31	2.86	(1.75)	
$X_{34} = X_5 \times X_7$						*
$X_{35} = X_6 \times X_7$	*				−2.20	(−1.67)
データ数 n	141	143	143	135	106	68
自由度 f	139	141	141	133	104	66
$t(\alpha)$ $\alpha = 1\%$	2.617	2.617	2.617	2.617	2.617	2.660
$t(\alpha)$ $\alpha = 5\%$	1.980	1.980	1.980	1.980	1.980	2.000

表 9-2 偏回帰係数の t 検定表〔$|t(\alpha)| \geqq 2.0$ を示す。但し（ ）内 $2.0 > |t(\alpha)| > 1.0$〕
Table of t-test for partial regression coefficients〔formula (17)〕

変数 \ $F_{n,f}$	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6	1.7	1.8
$X_1 = XLPVOL$	−5.43	−6.10	−5.67	−5.14	−4.25	−6.81	−5.85
$X_2 = BCTVOL$	(1.78)	(1.48)	(1.78)	2.32	(1.68)	3.69	3.24
$X_3 = XLCB$		(−1.19)	(−1.14)	(−1.06)	(−1.31)	−3.49	−2.64
$X_4 = ALFBS$			(−1.35)	(−1.43)			
$X_5 = X_1^2$						2.52	2.18
$X_6 = X_2^2$						3.27	2.95
$X_7 = X_3^2$		(1.09)					
$X_8 = X_4^2$			(1.06)	(−1.13)	−2.13	(1.30)	
$X_9 = X_1 \times X_2$					(−1.76)	−3.34	−3.25
$X_{10} = X_1 \times X_3$	(1.17)	(1.59)	(1.55)	(1.64)	(1.51)		
$X_{11} = X_1 \times X_4$						−2.15	(−1.75)
$X_{12} = X_2 \times X_3$							
$X_{13} = X_2 \times X_4$						2.05	2.19
$X_{14} = X_3 \times X_4$			(−1.01)	(−1.08)	(−1.94)		
データ数 n	47	39	38	36	29	25	24
自由度 f	45	37	36	34	27	23	22
$t(\alpha)$ $\alpha = 1\%$	2.704	2.704	2.704	2.750	2.771	2.787	2.819
$t(\alpha)$ $\alpha = 5\%$	2.021	2.021	2.021	2.042	2.052	2.060	2.074

変数 \ $F_{n,f}$	1.9	2.0	2.1
$X_1 = XLPVOL$	−5.73	−5.17	
$X_2 = BCPVOL$	3.20	3.29	(1.57)
$X_3 = XLCB$	−2.45	−2.28	−2.43
$X_4 = ALFBS$			(1.09)
$X_5 = X_1^2$	2.01		
$X_6 = X_2^2$	2.79	2.16	(1.88)
$X_7 = X_3^2$		(−1.23)	
$X_8 = X_4^2$			
$X_9 = X_1 \times X_2$	−3.41	−3.51	(−1.45)
$X_{10} = X_1 \times X_3$			
$X_{11} = X_1 \times X_4$	(−1.66)		
$X_{12} = X_2 \times X_3$		(1.46)	
$X_{13} = X_2 \times X_4$	2.58	3.00	
$X_{14} = X_3 \times X_4$		(−1.01)	(−1.26)
データ数 n	24	23	19
自由度 f	22	21	17
$t(\alpha)$ $\alpha = 1\%$	2.819	2.831	2.898
$t(\alpha)$ $\alpha = 5\%$	2.074	2.080	2.110

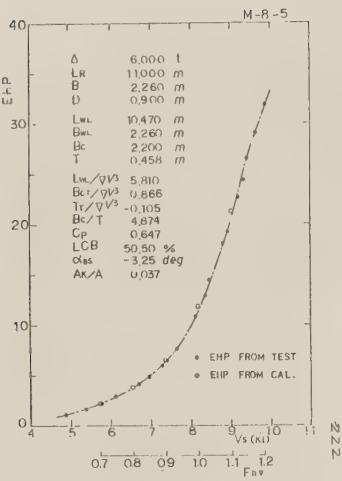


図 17-1

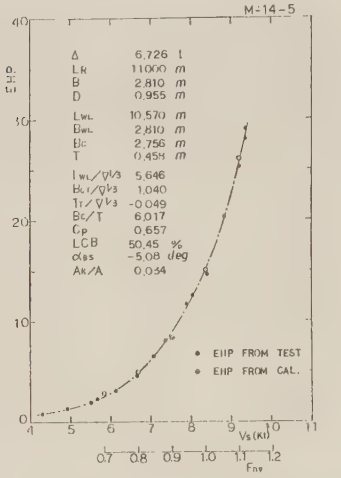


図 17-2

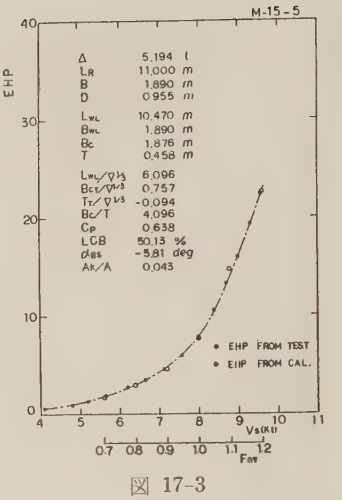


図 17-3

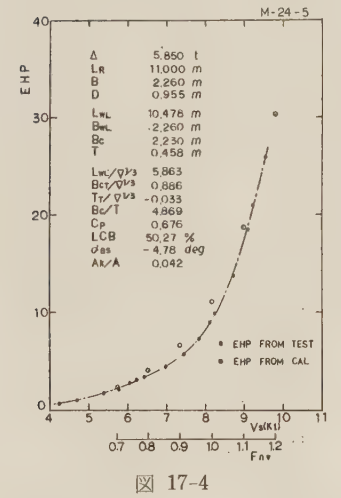


図 17-4

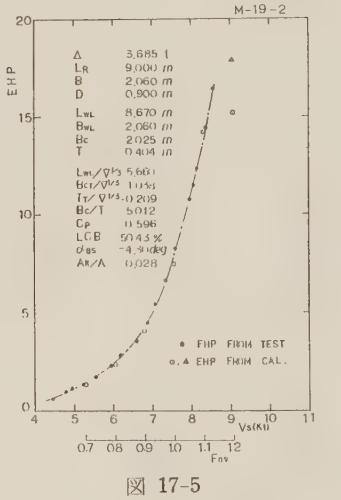


図 17-5

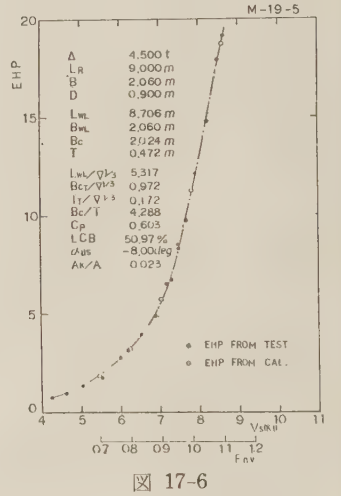


図 17-6

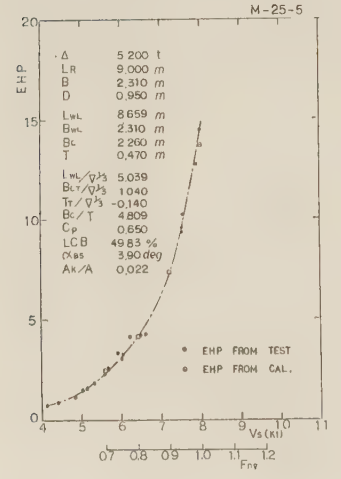


図 17-7

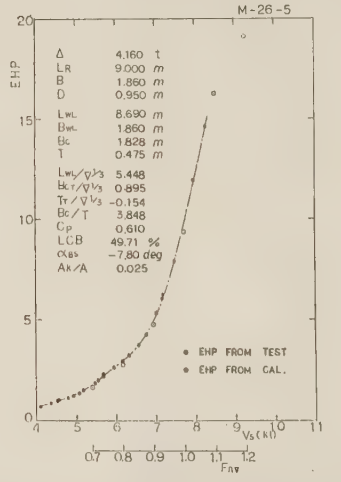


図 17-8

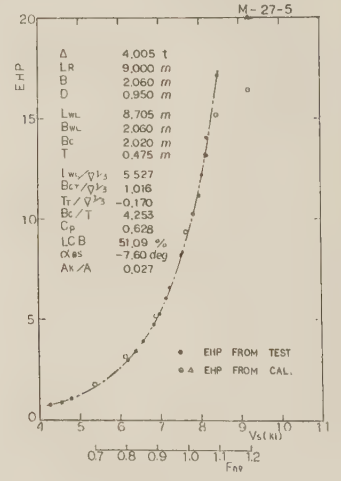


図 17-9

算定式による計算値と実測値の比較

Comparison between calculated-values by calculating formula and measured-values

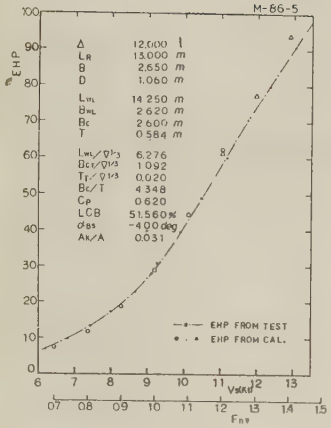


図 17-10

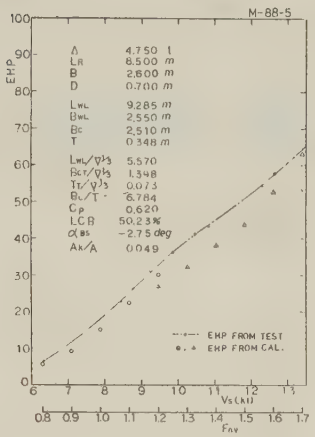


図 17 11

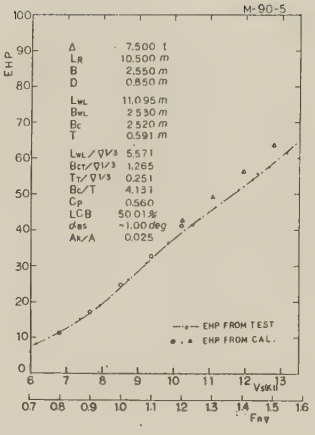


図 17-12

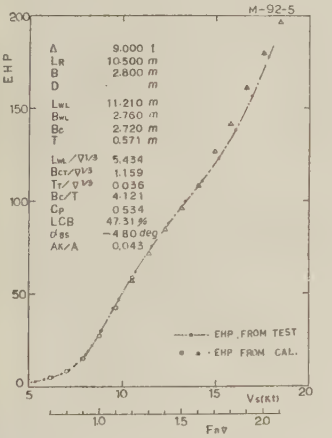


図 17-13

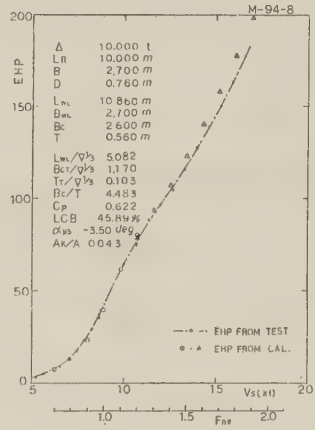


図 17-14

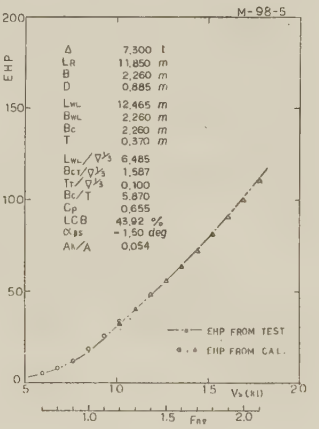


図 17-15

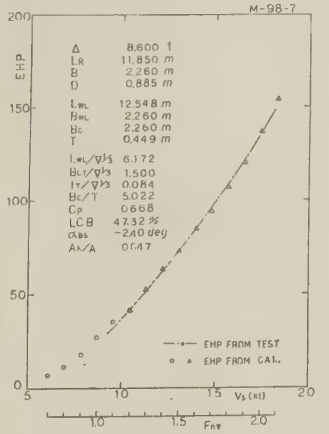


図 17-16

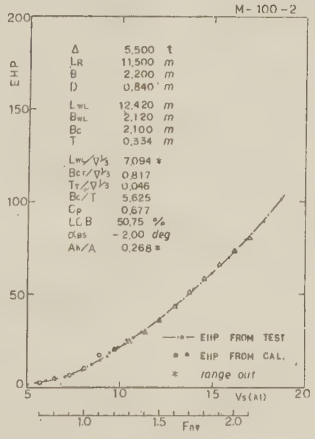


図 17-17

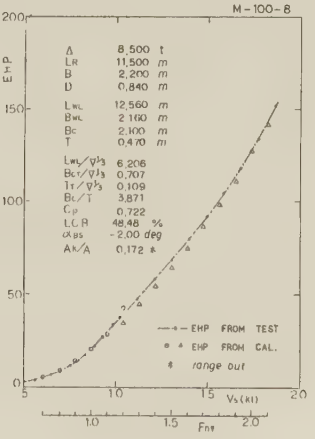


図 17-18

算定式による計算値と実測値の比較

Comparison between calculated-values by calculating formula and measured-values

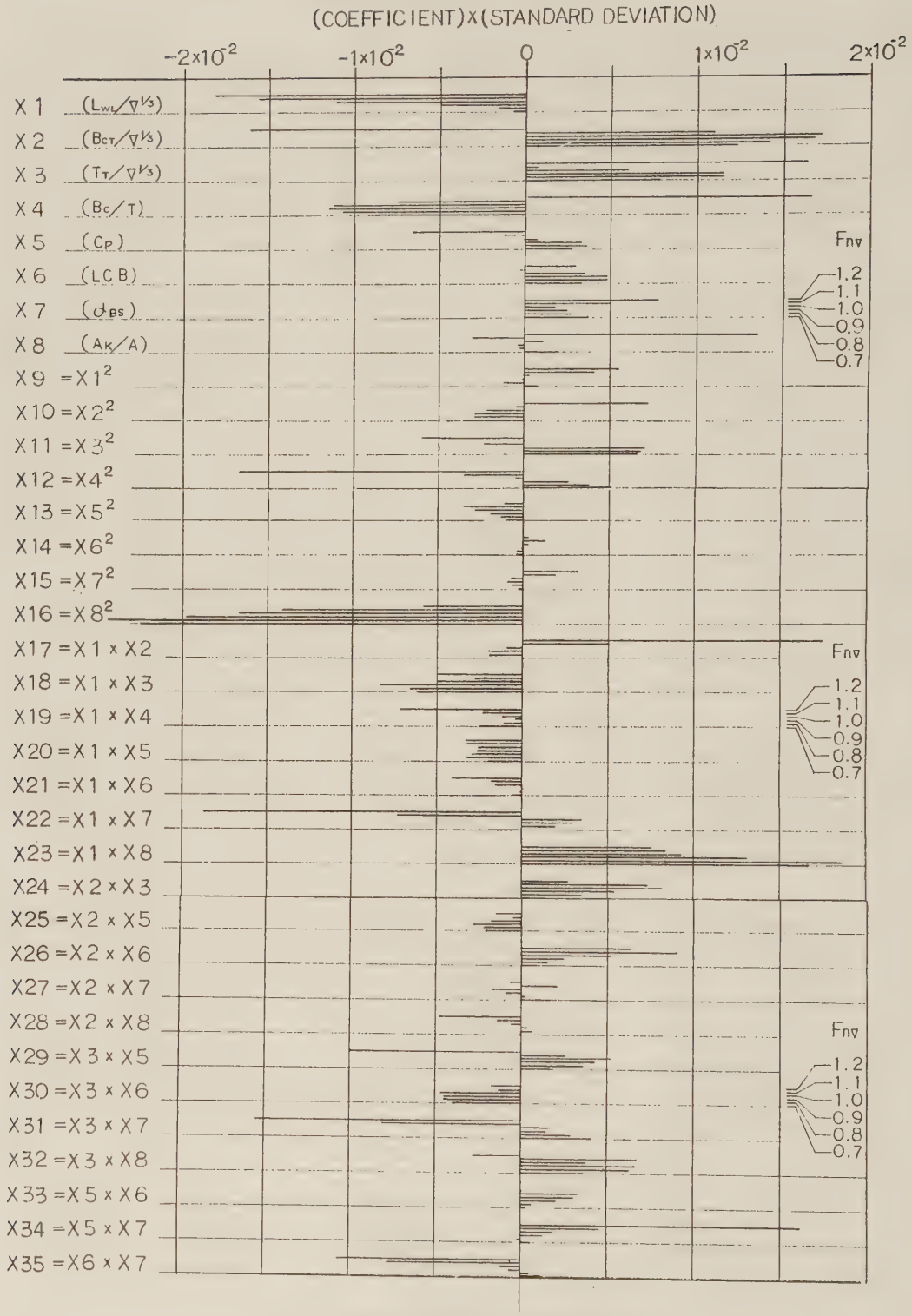


図 18 船型要素の算定式への寄与度〔(16) 式用〕

Degree of contribution to calculating formula by ship form parameters [formula (16)]

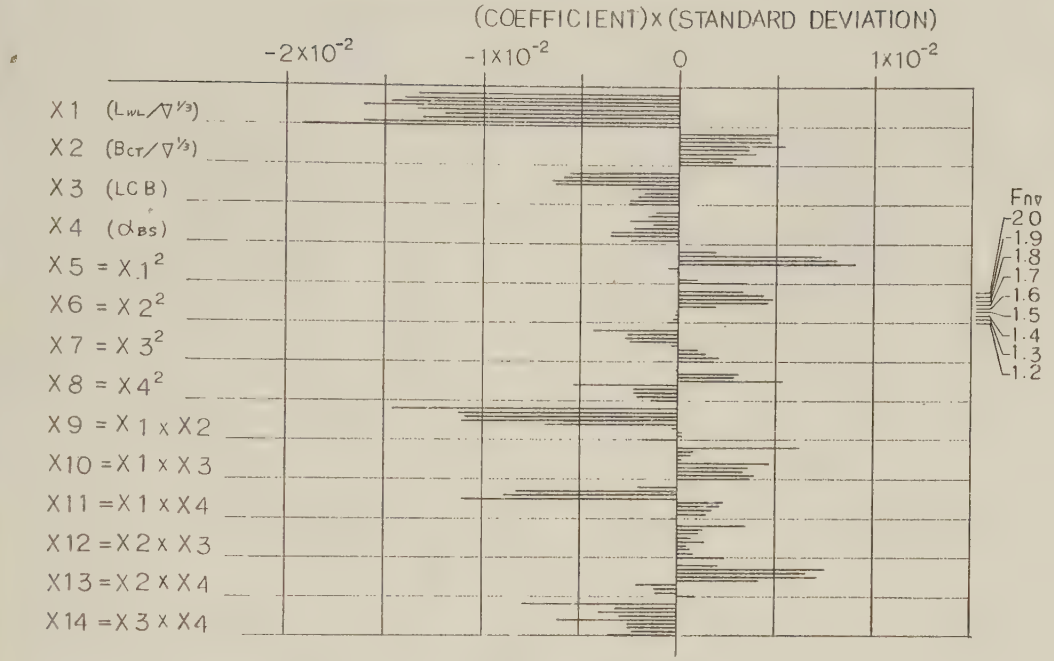


図 19　船型要素の算定式への寄与度〔(17) 式用〕
Degree of contribution to calculating formula by ship form parameters [formula (17)]

表 14　低速域用全抵抗係数 r_{10} 推定表の一例
A sample of tables for total resistance coefficient r_{10} at lower speed zone

FN(VOL) = 1.00　　35
TT/(VOL)1/3 = 0.2
LCB = 50.0

BC/T	L/(VOL)1/3	BCT/(VOL)1/3 0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
3.0										
	5.0	9.2	11.2	13.0	14.7	16.3	17.8	19.1	20.4	21.4
	5.2	8.5	10.4	12.2	13.9	15.4	16.8	18.1	19.3	20.3
	5.4	7.7	9.6	11.3	12.9	14.4	15.8	17.0	18.2	19.2
	5.6	6.9	8.7	10.4	12.0	13.4	14.8	16.0	17.0	18.0
	5.8	6.0	7.8	9.5	11.0	12.4	13.7	14.8	15.9	16.7
	6.0	5.2	6.9	8.5	10.0	11.4	12.6	13.7	14.7	15.5
	6.2	4.3	6.0	7.5	9.0	10.3	11.4	12.5	13.4	14.2
	6.4	3.4	5.0	6.5	7.9	9.2	10.3	11.3	12.2	12.9
	6.6	2.4	4.0	5.5	6.8	8.0	9.1	10.0	10.9	11.6
5.0										
	5.0	7.3	9.2	11.1	12.8	14.4	15.9	17.2	18.4	19.5
	5.2	6.6	8.5	10.3	12.0	13.6	15.0	16.3	17.4	18.5
	5.4	5.9	7.8	9.6	11.2	12.7	14.1	15.3	16.4	17.4
	5.6	5.2	7.1	8.8	10.4	11.8	13.1	14.3	15.4	16.3
	5.8	4.5	6.3	8.0	9.5	10.9	12.2	13.3	14.3	15.2
	6.0	3.8	5.5	7.1	8.6	9.9	11.2	12.3	13.2	14.1
	6.2	3.0	4.7	6.2	7.6	8.9	10.1	11.2	12.1	12.9
	6.4	2.2	3.8	5.3	6.7	7.9	9.1	10.1	10.9	11.7
	6.6	1.3	2.9	4.4	5.7	6.9	8.0	8.9	9.8	10.5
7.0										
	5.0	5.5	7.5	9.4	11.1	12.7	14.1	15.5	16.7	17.8
	5.2	5.0	6.9	8.7	10.4	11.9	13.4	14.7	15.8	16.9
	5.4	4.4	6.3	8.1	9.7	11.2	12.6	13.8	14.9	15.9
	5.6	3.8	5.7	7.4	8.9	10.4	11.7	12.9	14.0	14.9
	5.8	3.2	5.0	6.6	8.2	9.6	10.8	12.0	13.0	13.9
	6.0	2.6	4.3	5.9	7.4	8.7	10.0	11.0	12.0	12.9
	6.2	1.9	3.6	5.1	6.5	7.8	9.0	10.1	11.0	11.8
	6.4	1.2	2.8	4.3	5.7	6.9	8.1	9.1	9.9	10.7
	6.6	0.4	2.0	3.5	4.8	6.0	7.1	8.0	8.9	9.6
9.0										
	5.0	4.0	6.0	7.9	9.6	11.2	12.6	14.0	15.2	16.3
	5.2	3.6	5.5	7.3	9.0	10.5	12.0	13.3	14.4	15.5
	5.4	3.1	5.0	6.8	8.4	9.9	11.3	12.5	13.6	14.6
	5.6	2.6	4.5	6.2	7.8	9.2	10.5	11.7	12.8	13.7
	5.8	2.1	3.9	5.6	7.1	8.5	9.8	10.9	11.9	12.8
	6.0	1.6	3.3	4.9	6.4	7.7	9.0	10.1	11.0	11.9
	6.2	1.0	2.7	4.2	5.7	7.0	8.1	9.2	10.1	10.9
	6.4	0.4	2.0	3.5	4.9	6.2	7.3	8.3	9.2	9.9
	6.6	-0.3	1.3	2.8	4.1	5.3	6.4	7.4	8.2	8.9

表 15　高速域用全抵抗係数 r_{10} 推定表の一例
A sample of tables for total resistance coefficient r_{10} at higher speed zone

FN(VOL) = 1.80
LCB = 46.00

ALFBS	L/(VOL)1/3	BCT/(VOL)1/3 0.8	0.9	1.0	1.1	1.2	1.3	1.4	1.5	1.6
-5.0	5.0	8.4	8.7	9.1	9.6	10.2	11.0	11.8	12.8	14.0
	5.2	8.3	8.5	8.8	9.2	9.7	10.4	11.2	12.1	13.1
	5.4	8.2	8.3	8.5	8.9	9.3	9.9	10.6	11.4	12.4
	5.6	8.2	8.2	8.4	8.6	9.0	9.5	10.1	10.8	11.7
	5.8	8.3	8.2	8.3	8.4	8.7	9.1	9.7	10.3	11.1
	6.0	8.5	8.3	8.2	8.3	8.5	8.9	9.3	9.9	10.6
	6.2	8.7	8.4	8.3	8.3	8.4	8.7	9.0	9.5	10.1
	6.4	9.0	8.6	8.4	8.3	8.4	8.5	8.8	9.2	9.7
	6.6	9.3	8.9	8.6	8.4	8.4	8.5	8.7	9.0	9.4
-4.0	5.0	8.2	8.5	8.9	9.4	10.0	10.8	11.7	12.7	13.8
	5.2	7.9	8.1	8.4	8.8	9.4	10.0	10.8	11.8	12.8
	5.4	7.6	7.7	7.9	8.3	8.7	9.3	10.1	10.9	11.9
	5.6	7.4	7.4	7.6	7.8	8.2	8.7	9.4	10.1	11.0
	5.8	7.3	7.2	7.3	7.5	7.8	8.2	8.7	9.4	10.2
	6.0	7.2	7.1	7.1	7.2	7.4	7.7	8.2	8.8	9.5
	6.2	7.3	7.0	6.9	6.9	7.1	7.3	7.7	8.2	8.8
	6.4	7.4	7.0	6.8	6.8	6.8	7.0	7.3	7.7	8.2
	6.6	7.5	7.1	6.9	6.7	6.7	6.7	6.9	7.3	7.7
-3.0	5.0	8.6	8.9	9.3	9.8	10.5	11.3	12.2	13.2	14.3
	5.2	8.1	8.3	8.6	9.1	9.6	10.3	11.1	12.1	13.1
	5.4	7.6	7.7	8.0	8.3	8.8	9.4	10.2	11.0	12.0
	5.6	7.2	7.3	7.4	7.7	8.1	8.6	9.3	10.0	10.9
	5.8	6.9	6.9	6.9	7.1	7.4	7.9	8.4	9.1	9.9
	6.0	6.7	6.5	6.5	6.6	6.9	7.2	7.7	8.3	9.0
	6.2	6.5	6.3	6.2	6.2	6.3	6.6	7.0	7.5	8.2
	6.4	6.4	6.1	5.9	5.9	5.9	6.1	6.4	6.8	7.4
	6.6	6.4	6.0	5.7	5.6	5.5	5.6	5.9	6.2	6.7
-2.0	5.0	9.7	10.0	10.4	11.0	11.6	12.4	13.3	14.4	15.5
	5.2	9.0	9.2	9.5	10.0	10.5	11.3	12.1	13.0	14.1
	5.4	8.3	8.4	8.7	9.1	9.6	10.2	10.9	11.8	12.8
	5.6	7.7	7.8	7.9	8.2	8.6	9.2	9.8	10.6	11.5
	5.8	7.2	7.2	7.3	7.5	7.8	8.2	8.8	9.5	10.3
	6.0	6.8	6.6	6.6	6.8	7.0	7.4	7.8	8.5	9.2
	6.2	6.4	6.2	6.1	6.1	6.3	6.6	7.0	7.5	8.1
	6.4	6.1	5.8	5.6	5.6	5.7	5.9	6.2	6.6	7.2
	6.6	5.9	5.5	5.3	5.1	5.1	5.2	5.4	5.8	6.3
-1.0	5.0	11.4	11.7	12.2	12.7	13.4	14.2	15.1	16.2	17.3
	5.2	10.5	10.7	11.1	11.5	12.1	12.8	13.7	14.6	15.7
	5.4	9.6	9.8	10.0	10.4	10.9	11.6	12.3	13.2	14.2
	5.6	8.9	8.9	9.1	9.4	9.8	10.3	11.0	11.8	12.7
	5.8	8.2	8.1	8.2	8.4	8.8	9.2	9.8	10.5	11.3
	6.0	7.5	7.4	7.4	7.5	7.8	8.2	8.7	9.3	10.0
	6.2	7.0	6.8	6.7	6.7	6.9	7.2	7.6	8.1	8.8
	6.4	6.5	6.2	6.0	6.0	6.1	6.3	6.6	7.0	7.6
	6.6	6.0	5.7	5.4	5.3	5.5	5.4	5.7	6.0	6.5

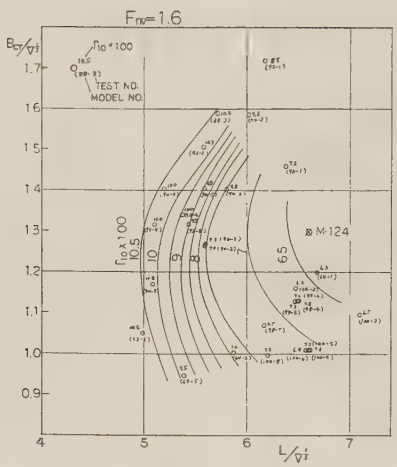


図 20-1

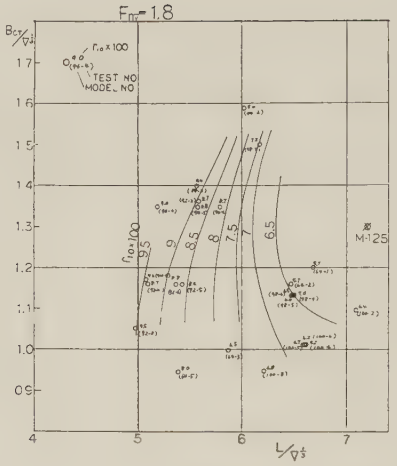


図 21-1

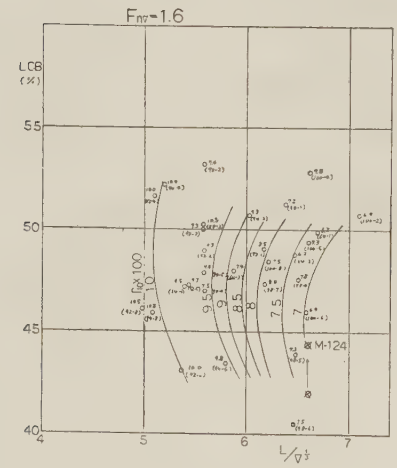


図 20-2

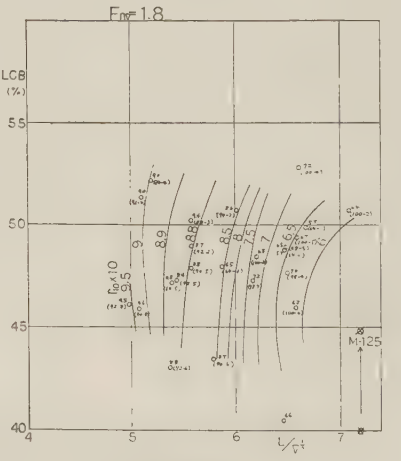


図 21-2

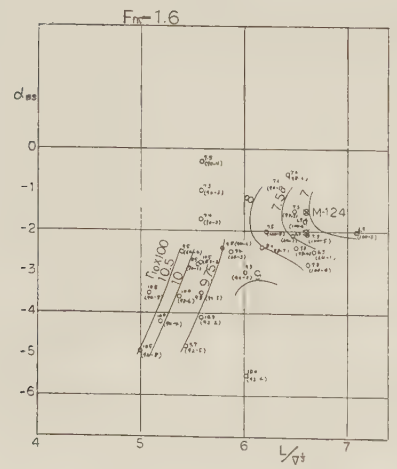


図 20-3

r_{10} 実測値による contour を使用した
底曳網型 (M-124) の船型計画
Plan of ship form for trawler type (M-124) by contours of r_{10} measured

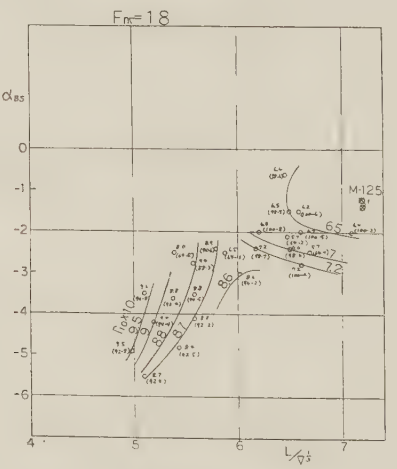


図 21-3

r_{10} 実測値による contour を使用した
一本釣型 (M-125) の船型計画
Plan of ship form for pole and line type (M-125) by contours of r_{10} measured

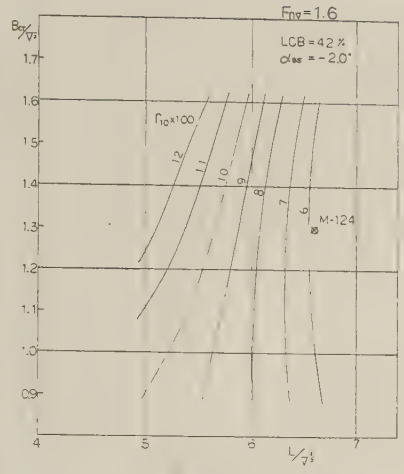


図 22-1

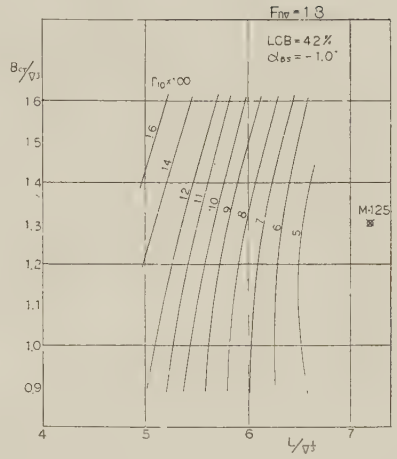


図 23-1

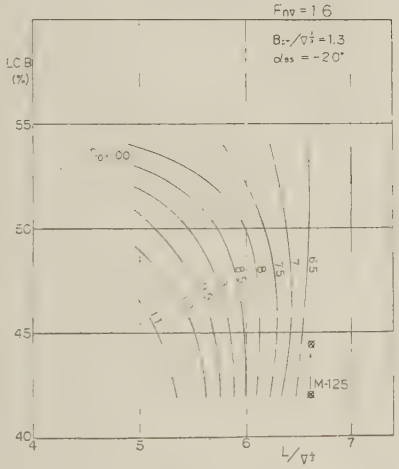


図 22-2

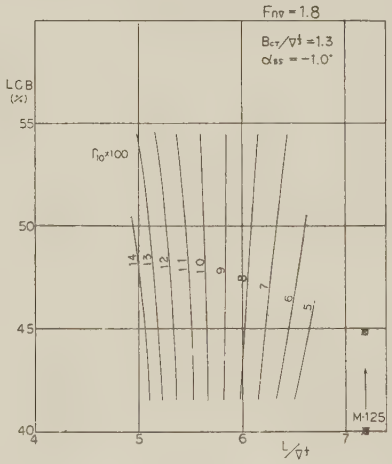


図 23-2

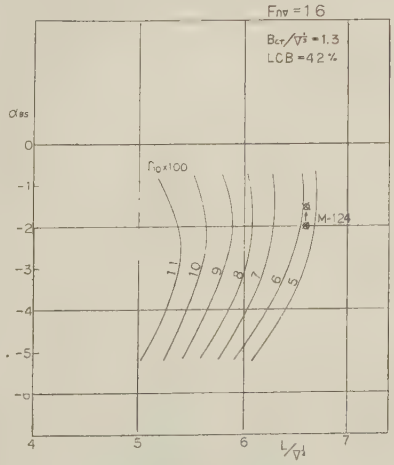


図 22-3

(17) 式による r_{10} の contour を使用した
底曳網型 (M-124) の船型計画
Plan of ship form for trawler type (M 124) by contours of r_{10} calculated from formula (17)

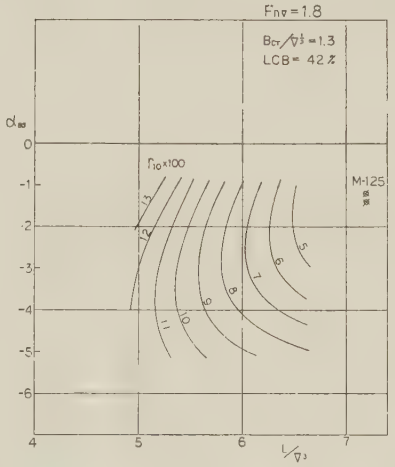


図 23-3

(17) 式による r_{10} の contour を使用した
一本釣型 (M-125) の船型計画
Plan of ship form for pole and line type (M-125) by contours of r_{10} calculated from formula (17)

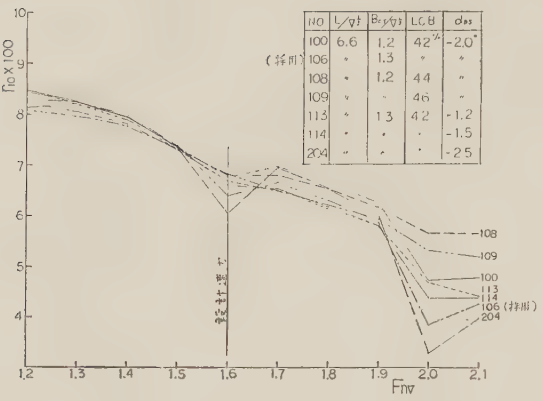


図 24 (17) 式による r_{10} 算定値 (底曳網型, M-124)
Calculated-values of r_{10} from formula (17) (trawler type, M-124)

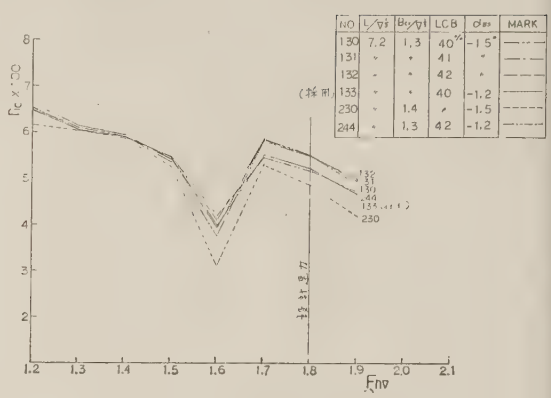


図 25 (17) 式による r_{10} 算定値 (一本釣型, M-125)
Calculated-values of r_{10} from formuta (17) (pole and line type, M-125)

表 16 底曳網型 (M-124) の周辺船型
Similar ship form of trawler type (M-124)

SHIP NO	1	1-1	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7	1-8	1-9	1-10
$L/\nabla^{\frac{1}{3}}$	6.60	6.27	6.93	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60	6.60
$B_{CT}/\nabla^{\frac{1}{3}}$	1.30	1.30	1.30	1.235	1.365	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
LCB	42.0	42.0	42.0	42.0	42.0	39.9	44.1	42.0	42.0	42.0	42.0
α_{BS}	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-2.0	-1.9	-2.1	-1.8 (-10%)	-2.2 (+10%)
FN(VOL)	R10*100										
1.200	8.294	9.703	7.119	8.395	8.183	8.581	8.127	8.324	8.263	8.352	8.230
1.300	8.240	9.564	6.977	8.244	8.231	8.549	8.065	8.242	8.236	8.241	8.230
1.400	7.965	9.122	6.805	7.954	7.973	8.167	7.855	7.964	7.964	7.960	7.961
1.500	7.356	8.440	6.269	7.360	7.350	7.451	7.329	7.357	7.353	7.355	7.348
1.600	6.394	7.809	4.948	6.618	6.204	6.253	6.510	6.448	6.335	6.497	6.270
1.700	6.643	7.447	6.358	6.813	6.603	6.627	6.505	6.605	6.689	6.572	6.740
1.800	6.288	7.054	5.981	6.496	6.212	6.230	6.177	6.256	6.324	6.228	6.363
1.900	5.852	6.650	5.466	6.075	5.750	5.718	5.824	5.833	5.875	5.817	5.902
2.000	3.830	5.510	2.259	4.383	3.374	2.951	4.446	3.939	3.722	4.047	3.614
2.100	4.240	5.606	2.946	4.565	4.018	3.509	4.646	4.279	4.197	4.312	4.148

表 17 一本釣 (M-125) 型の周辺船型
Similar ship form of trawler type (M-125)

SHIP NO	2	2-1	2-2	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8	2-9	2-10
$L/\nabla^{\frac{1}{3}}$	7.20	6.84	7.56	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20	7.20
$B_{CT}/\nabla^{\frac{1}{3}}$	1.30	1.30	1.30	1.235	1.365	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30	1.30
LCB	40.0	40.0	40.0	40.0	40.0	38.0	42.0	40.0	40.0	40.0	40.0
α_{BS}	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.2	-1.14	-1.26	-1.08 (-10%)	-1.32 (+10%)
FN(VOL)	R10*100										
1.200	6.602	7.873	5.610	6.813	6.381	6.807	6.507	6.620	6.584	6.638	6.565
1.300	6.126	7.559	4.766	6.172	6.076	6.325	6.050	6.130	6.121	6.134	6.115
1.400	5.937	7.270	4.600	5.965	5.906	6.046	5.911	5.941	5.932	5.944	5.926
1.500	5.398	6.638	4.153	5.484	5.309	5.377	5.479	5.405	5.389	5.412	5.380
1.600	3.971	5.651	2.255	4.389	3.588	3.707	4.213	4.008	3.932	4.044	3.892
1.700	5.510	5.955	5.681	5.958	5.191	5.442	5.437	5.453	5.569	5.398	5.630
1.800	5.190	5.623	5.302	5.680	4.831	5.080	5.146	5.140	5.241	5.091	5.294
1.900	4.638	5.164	4.602	5.131	4.266	4.426	4.703	4.599	4.678	4.561	4.719
2.000	0.787	2.744	-1.042	1.750	-0.080	-0.405	1.740	0.857	0.716	0.928	0.645
2.100	1.326	2.991	-0.254	1.984	0.771	0.300	2.057	1.354	1.296	1.380	1.264

表 18　船　型　計　画
Plan of ship form

項目	船型	底曳網型					一本釣型					
		M-124				M-92-5	M-125				M-98-5	M-100-5
船型要素	$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	6.60				5.434	7.20				6.485	6.597
	$B_{CT}/\nabla^{1/3}$	1.30				1.159	1.30				1.096	1.012
	LCB (%)	42.0 (44.4)*				47.31	40.0 (44.9)*				43.92	49.41
	α_{BS} (°)	−2.0 (−1.52)*				−4.8	−1.2 (−1.37)*				−1.5	−2.0
Lベースの主要目	Δ (t)	10.0				10.0	10.0				10.0	10.0
	∇ (m^3)	9.756				9.756	9.756				9.756	9.756
	L_{WL} (m)	14.10				11.610	15.39				13.844	14.094
	B_{CT} (m)	2.78				2.477	2.78				2.342	2.162
	B_C (m)	2.78				2.817	2.78				2.510	2.365
	L_{WL}/B_C	5.07				4.121	5.54				5.515	5.959
	T	0.50	0.55	0.60	0.571*	0.684	0.45	0.50	0.55	0.519*	0.385	0.450
	$C_B=\nabla/L_{WL}\cdot B_C\cdot T$	0.498	0.453	0.415	0.425*	0.412	0.500	0.450	0.409	0.427*	0.480	0.548
	B_C/T	5.56	5.05	4.63	4.87*	4.121	6.18	5.56	5.05	5.36*	5.870	5.250
	C_M		0.630		0.633*	0.773		0.630		0.640*	0.733	0.780
	C_P	0.790	0.719	0.659	0.671*	0.534	0.794	0.710	0.649	0.667*	0.655	0.730
L_Rベースの主要目	$L_R=L_{PP}$ (m)	13.10				10.875	14.20				13.161	12.951
	B (m)	2.78				2.900	2.78				2.510	2.478
	D (m)	0.86				1.036	0.94				0.983	0.946
	GT (T)	約 6.85				約7.15	約 8.12				約7.11	約6.64
動力漁船の性能の基準	L_R/B	4.71 (基準 $L_R/B<5.5$ 〃)				3.75	5.11 (基準 $L_R/B<5.5$ 〃)				5.24	5.23
	L_R/D	15.23 (〃 $L_R/D<15.3$ 〃)				10.05	15.11 (〃 $L_R/D<15.2$ 〃)				13.39	13.69
	B/D	3.23 (〃 $2.0<B/D<3.58$)				2.80	2.95 (〃 $2.0<B/D<3.57$)				2.55	2.62

(注)　1.　*印は線図決定後の値
2.　*印の C_B, C_P 算出の ∇ には BL 以下の容積を含まない。

表 19 M-124 及び M-125 の主要目
Principal demensions of M-124 and M-125

		M-124	M-125				M-124	M-125
L_{OA}	m	15.40	16.69	Draught	d_A	m	0.571	0.519
L_R	m	13.10	14.20		d_M	m	0.571	0.519
L_{PP}	m	13.10	14.20		d_F	m	0.571	0.519
L_{WL}	m	14.10	15.39	Trim		m	0.0(BLより)	0.0(BLより)
B	m	2.78	2.78	Trim/L_{PP}		%	0.0(BLより)	0.0(BLより)
B_C	m	2.78	2.78	Δ		t	10.0	10.0
D	m	0.86	0.86	V_S		Kt	14.3	16.1 以上

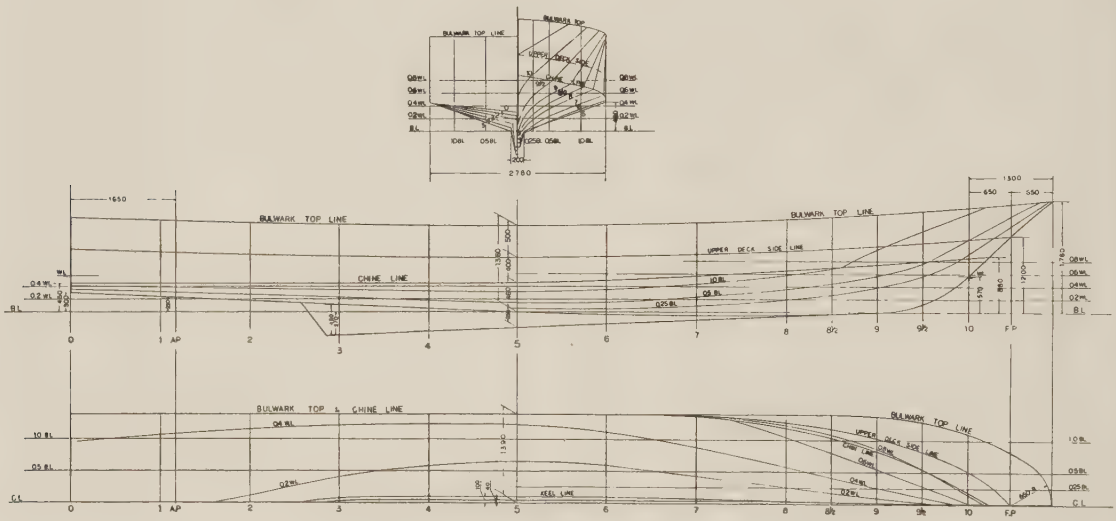


図 26 M-124 (底曳網型船型) の線図
Lines of M-124 (trawler type)

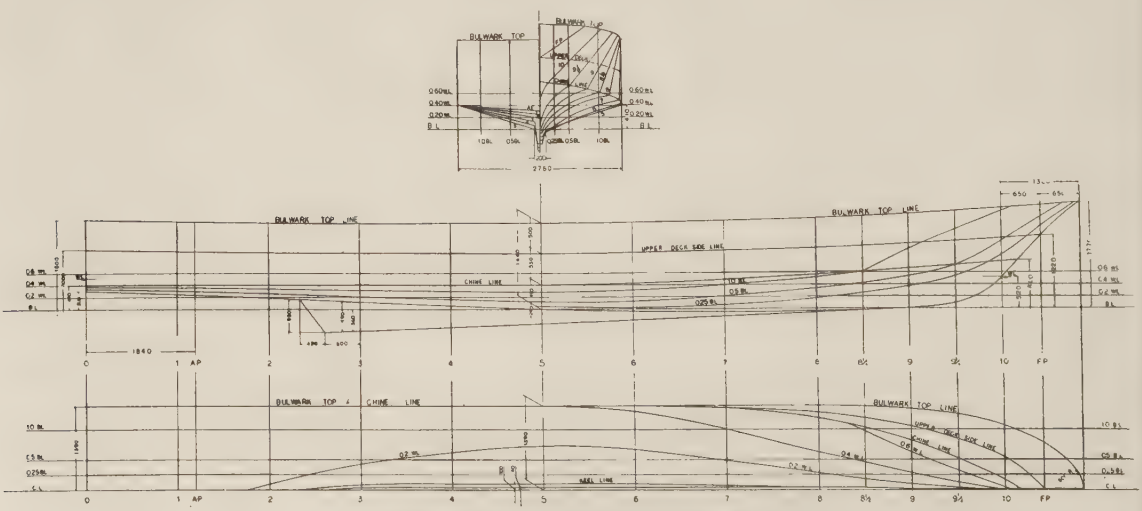


図 28 M-125 (一本釣型船型) の線図
Lines of M-125 (Pole and Line type)

表 20 M-124 と M-92 の比較
Comparison between M-124 and M-92

項目＼船型		底曳網型	比較船型(底曳型) 瀬戸内底曳標準設計
		M-124-1	M-92-5
L_{OA}	m	15.40	13.41
L_R	m	13.10	10.88
L_{PP}	m	13.10	10.88
B	m	2.78	2.90
D	m	0.86	1.04
B_C	m	2.78	2.82
B_{CT}	m	2.78	2.48
Δ	t	10.00	10.00
d_A	m	0.571	0.72
d_M	m	0.571	0.59
d_F	m	0.571	0.46
Trim	m	0.0(BLより)	0.26(BLより)
Trim/L_{PP}	%	0.0(BLより)	2.38(BLより)
T	m	0.571	0.68
L_{WL}	m	14.10	11.61
L_R/B		4.71	3.75
L_R/D		15.23	10.05
B/D		3.23	2.80
$L_{WL}/\nabla^{1/3}$		6.60	5.43
$B_{CT}/\nabla^{1/3}$		1.30	1.16
L_{WL}/B_C		5.07	4.12
B_C/T		4.87	4.12
C_B		0.425	0.412
C_P		0.671	0.534
C_M		0.633	0.773
LCB	%	44.4	47.3
α_{BS}	°	−1.37	−4.8

(注) M-92-5 は Δ=10 t に換算した値を示す。
ノルマルトリム (M-124 4.71%, M-92 5.71%)

表 21 M-125 と M-98 及び M-100 の比較
Comparison between M-125, M-100 and M-98

項目＼船型		一本釣型	比較船型(一本釣型) 和歌山・海幸丸	標準設計
		M-125-1	M-98-5	M-100-5
L_{OA}	m	16.69	15.86	15.99
L_R	m	14.20	13.16	12.95
L_{PP}	m	14.20	13.16	12.95
B	m	2.78	2.51	2.48
D	m	0.94	0.98	0.95
B_C	m	2.78	2.51	2.37
B_{CT}	m	2.78	2.34	2.16
Δ	t	10.00	10.00	10.00
d_A	m	0.519	0.50	0.54
d_M	m	0.519	0.41	0.45
d_F	m	0.519	0.32	0.37
Trim	m	0.00	0.18	0.17
Trim/L_{PP}	%	0.00	1.39	1.30
T	m	0.519	0.39	0.45
L_{WL}	m	15.39	13.84	14.09
L_R/B		5.11	5.24	5.23
L_R/D		15.11	13.39	13.69
B/D		2.95	2.55	2.62
$L_{WL}/\nabla^{1/3}$		7.20	6.49	6.60
$B_{CT}/\nabla^{1/3}$		1.30	1.10	1.01
L_{WL}/B_C		5.54	5.52	6.95
B_C/T		5.36	5.87	5.25
C_B		0.427	0.480	0.548
C_P		0.667	0.655	0.730
C_M		0.640	0.733	0.780
LCB	%	44.90	43.90	49.40
α_{BS}	°	−1.37	−1.50	−2.00

(注) M-98 M5 及び M-100-5 は Δ=10 t に換算した値を示す。
ノルマルトリム (M-125 4.23%, M-98 6.92%, M-100 5.22%)

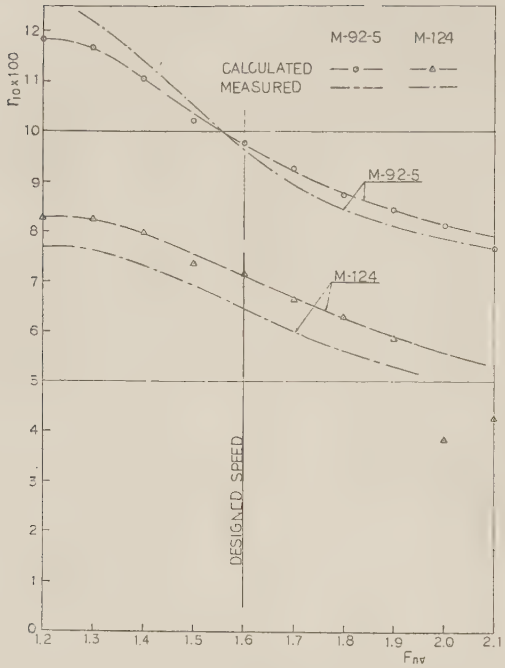


図 27 M-124 及び M-92 の r_{10} 計算値と実測値比較
Comporison of r_{10} calculated and measured between M-124 and M-92

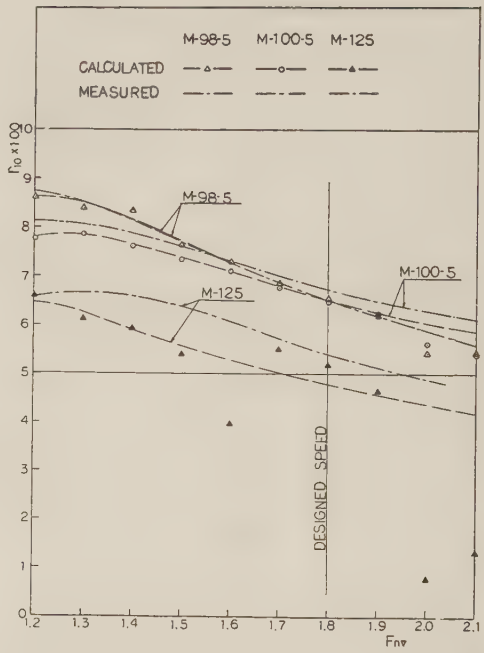


図 29 M-125 と M-98 及び M-100 の r_{10} 計算値と実測値比較
Comparison of r_{10} calculated and measured between M-125, M-98 and M-100

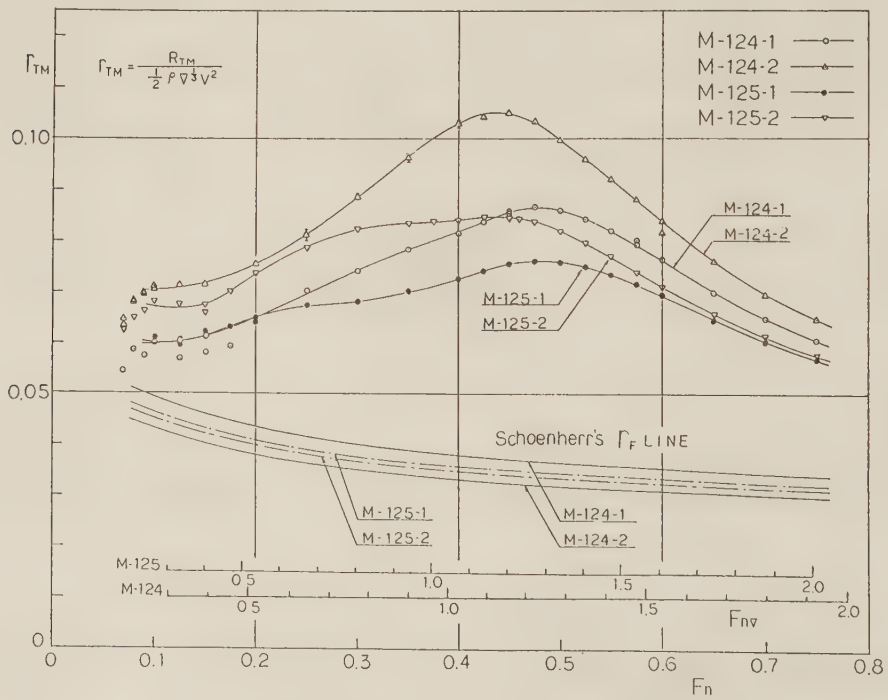


図 30 模型船全抵抗係数 $r_{TM}-F_{nV}$ 曲線 (M-124, M-125)
Total resistance coefficient $r_{TM}-F_{nV}$ curves for model (M-124, M-125)

表 22　M-124 抵抗試験状態

Conditions of resistance test (M-124)

			SHIP		MODEL	
			M-124-1	M-124-2	M-124-1	M-124-2
Scale	(a)		1	1	1/8.294	1/8.294
	$a^{1/2}$		1	1	1/2.880	1/2.880
	a^2		1	1	1/68.79	1/68.79
	a^3		1	1	1/570.6	1/570.6
L_{OA}		m	15.40	15.40	1.857	1.857
L_R		m	13.10	13.10	1.579	1.579
L_{PP}		m	13.10	13.10	1.579	1.579
B		m	2.78	2.78	0.335	0.335
B_C		m	2.78	2.78	0.335	0.335
B_{CT}		m	2.78	2.78	0.335	0.335
D		m	0.86	0.86	0.104	0.104
Δ		t	10.00	10.00	0.01710	0.01710
Draught	d_A	m	0.571	0.700	0.0688	0.0844
	d_M	m	0.571	0.544	0.0688	0.0656
	d_F	m	0.571	0.388	0.0688	0.0468
Trim		m	0.00	0.312	0.00	0.0376
Trim/L_{PP}		%	0.00	2.38	0.00	2.38
L_{WL}		m	14.10	13.89	1.700	1.675
Wetted Surface	Naked	m²	48.05	42.11	0.699	0.612
	Appendages	m²		—	—	—
	Total	m²	48.05	42.11	0.699	0.612
Water Temp.		℃	15.0	22.5	15.0	22.0
$L_{WL}/\nabla^{1/3}$			6.60	6.50	6.60	6.50
$B_{CT}/\nabla^{1/3}$			1.30	1.30	1.30	1.30
L_{WL}/B_C			5.07	4.99	5.07	4.99
B_C/T			4.87	4.87	4.87	4.87
C_B			0.425	0.446	0.425	0.446
C_P			0.671	0.726	0.671	0.726
C_M			0.633	0.614	0.633	0.614
LCB		%	44.4	38.1	42.1	38.1
α_{BS}		°	−1.52	−0.005	−1.52	−0.005

表 23　M-125 抵抗試験状態

Conditions of resistance test (M-125)

			SHIP		MODEL	
			M-125-1	M-125-2	M-125-1	M-125-2
Scale	(a)		1	1	1/9.053	1/9.053
	$a^{1/2}$		1	1	1/3.009	1/3.009
	a^2		1	1	1/81.96	1/81.96
	a^3		1	1	1/741.9	1/741.9
L_{OA}		m	16.64	16.69	1.844	1.844
L_R		m	14.20	14.20	1.569	1.569
L_{PP}		m	14.20	14.20	1.569	1.569
B		m	2.78	2.78	0.307	0.307
B_C		m	2.78	2.78	0.307	0.307
B_{CT}		m	2.78	2.78	0.307	0.307
D		m	0.94	0.94	0.104	0.104
Δ		t	10.00	10.00	0.01315	0.01315
Draught	d_A	m	0.519	0.550	0.0573	0.0607
	d_M	m	0.519	0.457	0.0573	0.0505
	d_F	m	0.519	0.365	0.0573	0.0403
Trim		m	0.00	0.185	0.00	0.0204
Trim/L_{PP}		%	0.00	1.30	0.00	1.30
L_{WL}		m	15.39	15.26	1.700	1.686
Wetted Surface	Naked	m²	45.26	43.89	0.552	0.536
	Appendages	m²	—	—	—	—
	Total	m²	45.26	43.89	0.552	0.536
Water Temp.		℃	15.0	22.4	15.0	22.2
$L_{WL}/\nabla^{1/3}$			7.20	7.14	7.20	7.14
$B_{CT}/\nabla^{1/3}$			1.30	1.30	1.30	1.30
L_{WL}/B_C			5.54	5.49	5.54	5.49
B_C/T			5.36	6.08	5.36	6.08
C_B			0.427	0.439	0.427	0.427
C_P			0.667	0.696	0.667	0.667
C_M			0.640	0.630	0.640	0.640
LCB		%	44.9	40.6	44.9	40.6
α_{BS}		°	−1.37	−0.54	−1.37	−0.54

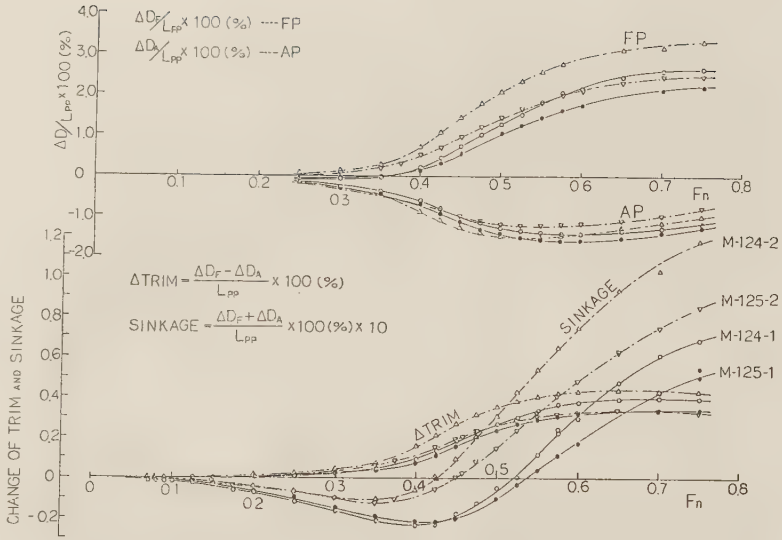


図 31 dipping curve, trim 変化及び sinkage (M-124, M-125)
Dipping curves, change of trim and sinkage (M-124, M-125)

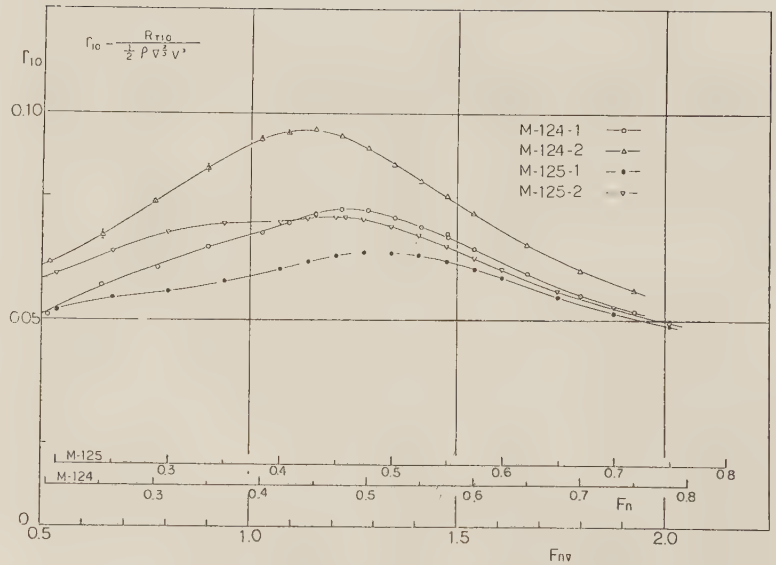


図 32 $r_{10}-F_{nv}$ 曲線 (M-124, M-125)
$r_{10}-F_{nv}$ curves (M-124, M-125)

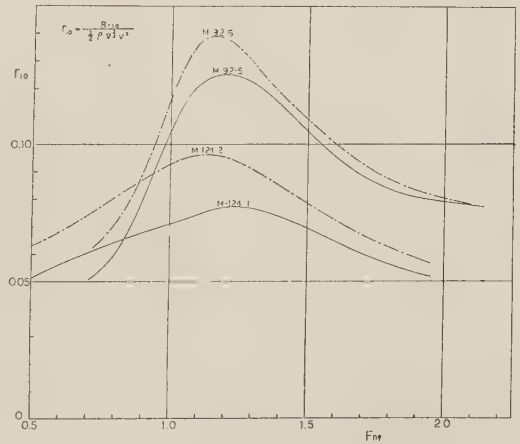


図 33 $r_{10}-F_{nv}$ 曲線 (M-124, M-92)
$r_{10}-F_{nv}$ curves (M-124, M-92)

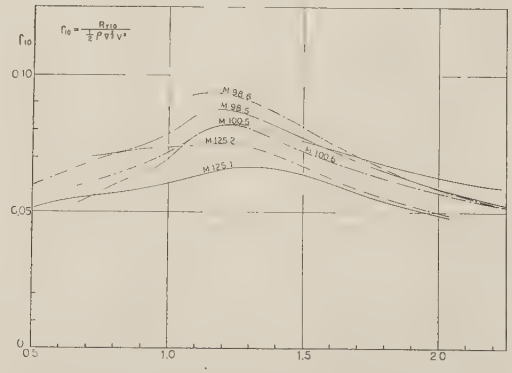


図 34 $r_{10}-F_{nv}$ 曲線 (M-125, M-100, M-98)
$r_{10}-F_{nv}$ curves (M-125, 100, M-98)

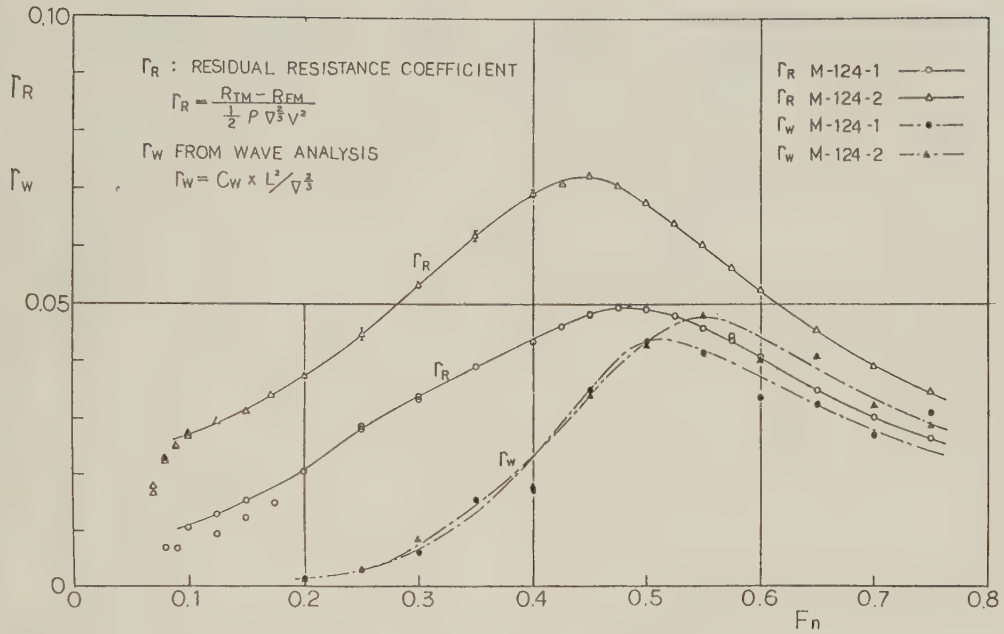


図 35 剰余抵抗係数 r_R と波形解析による造波抵抗係数 r_W (M-124)
Residual resistance coefficient r_R and wave making resistance coefficient r_W by wave analysis (M-124)

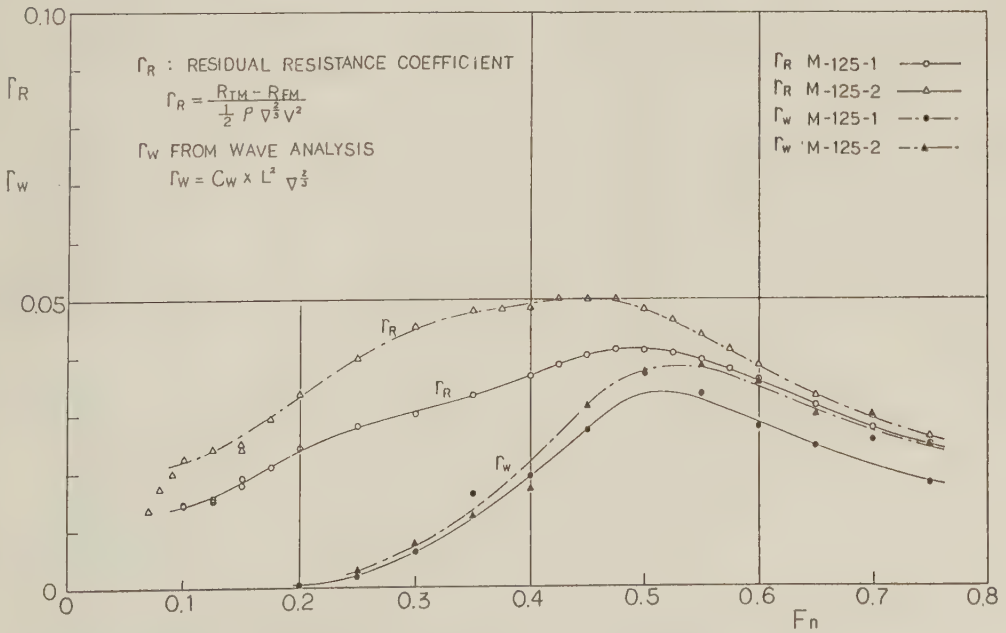


図 36 剰余抵抗係数 r_R と波形解析による造波抵抗係数 r_W (M-125)
Residual resistance coefficient r_R and wave making resistance coefficient r_W by wave analysis (M-125)

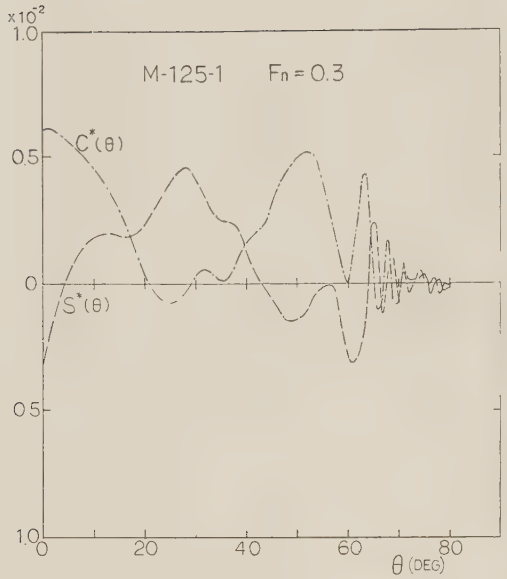


図 37-1 M-125-1 重率振幅関数
Weighted amplitude function (M-125-1)

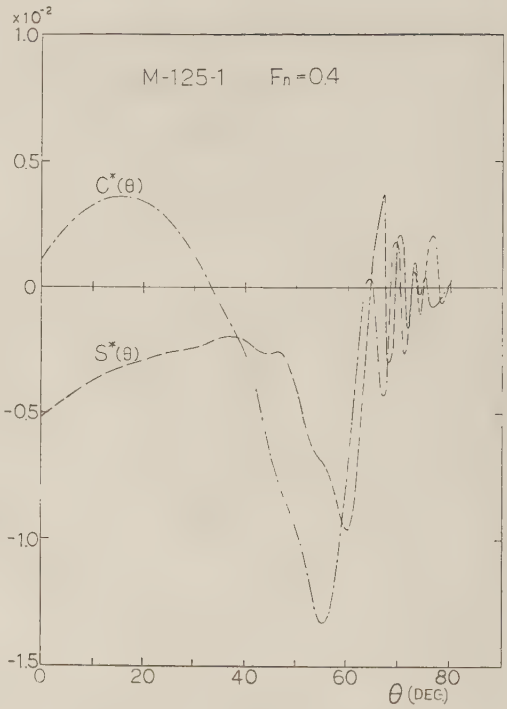


図 37-2 M-125-1 重率振幅関数
Weighted amplitude function (M 125-1)

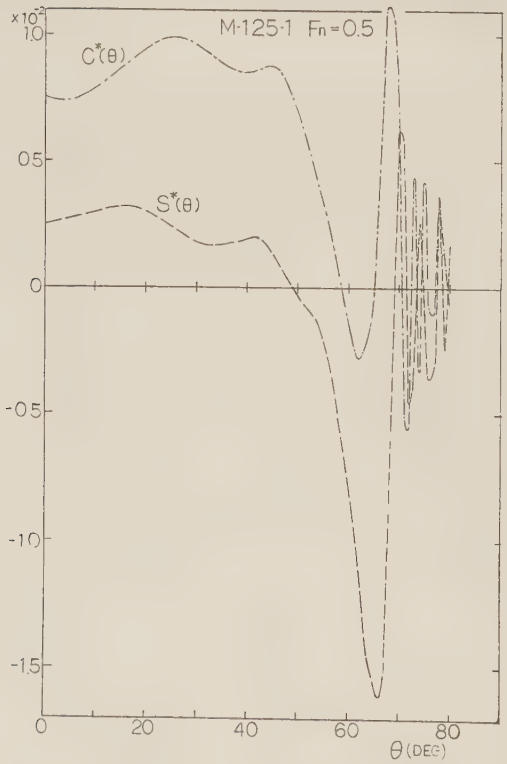


図 37-3 M-125-1 重率振幅関数
Weighted amplitude function (M-125 1)

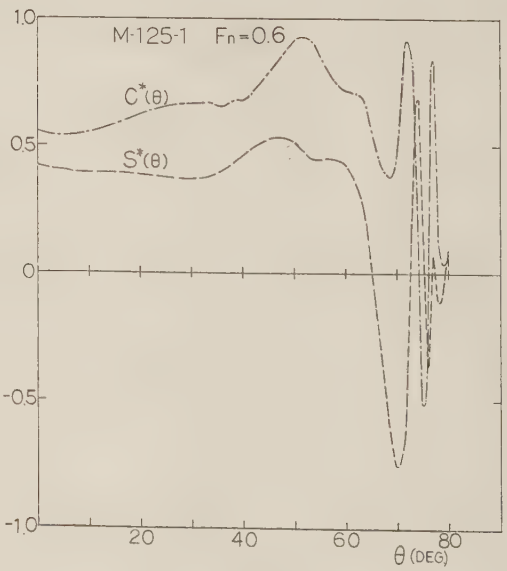


図 37-4 M-125-1 重率振幅関数
Weighted amplitude function (M-125-1)

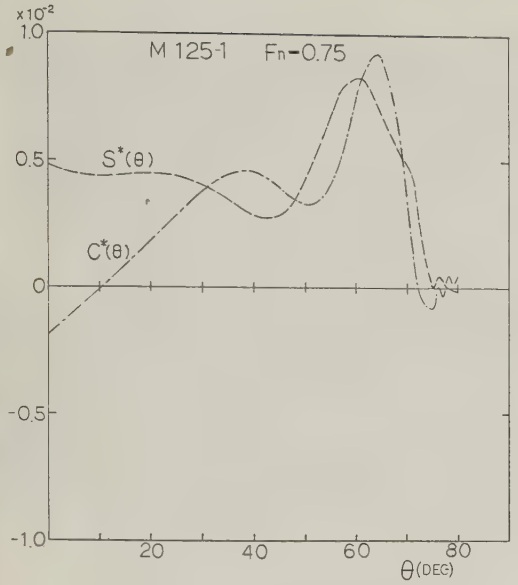


図 37-5 M-125-1 重率振幅関数
Weighted amplitude function (M-125-1)

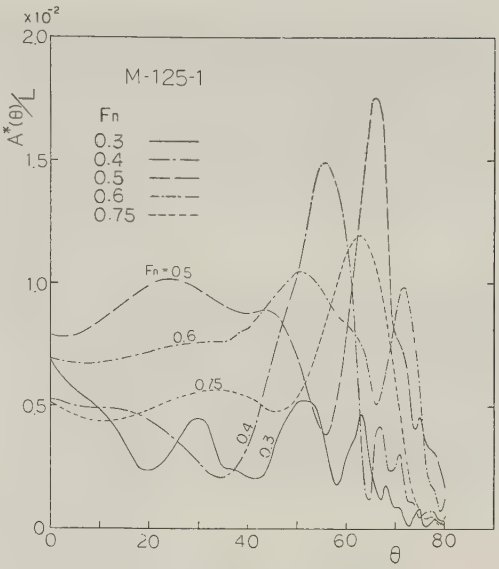


図 38 M-125-1 合成重率振幅関数
Compositive weighted amplitude function (M-125-1)

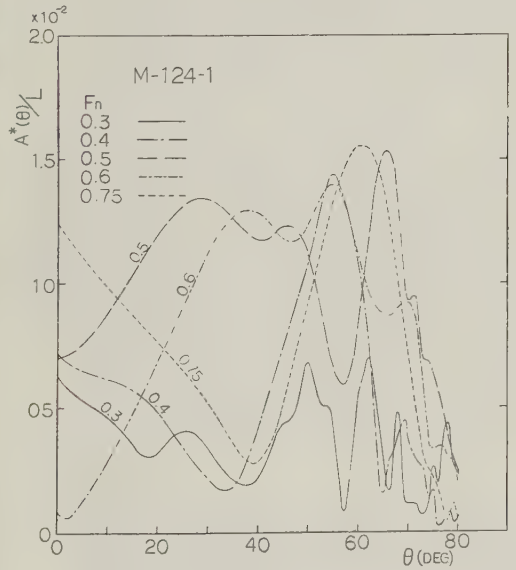


図 39 M-124-1 合成重率振幅関数
Compositive weighted amplitude function (M-124-1)

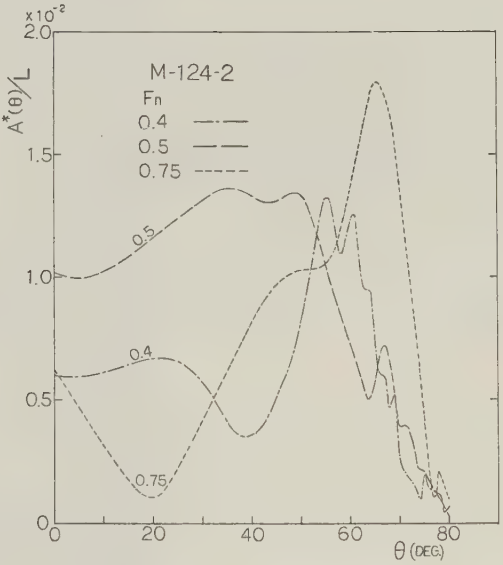
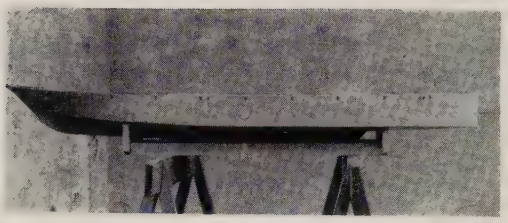
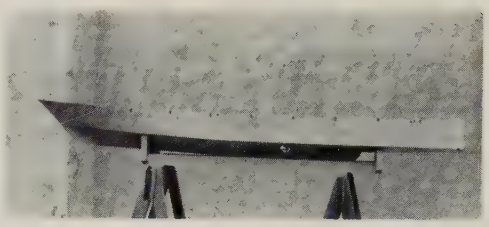
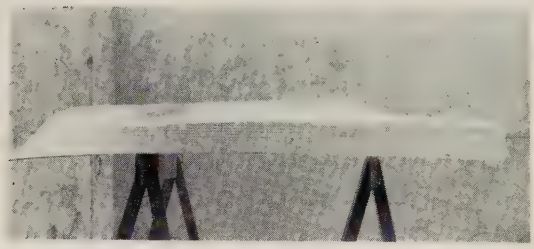
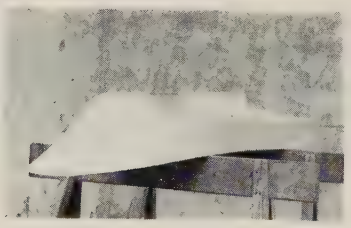


図 40 M-124-2 合成重率振幅関数
Compositive weighted amplitude function (M-124-2)









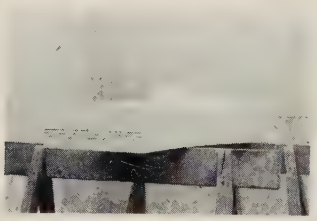
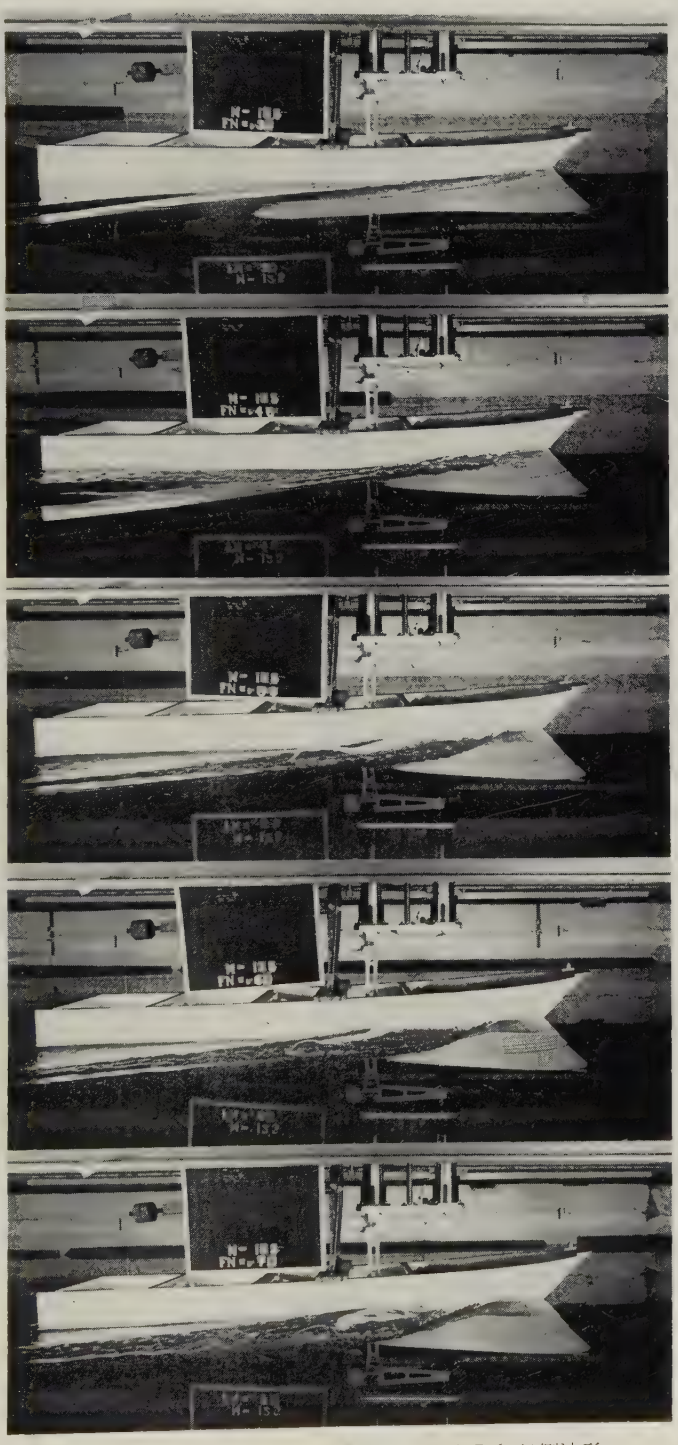


図 41 M-124 (底曳型船型) の模型船
Model M-124 (trawler type)

図 42 M-125 (一本釣型船型) の模型船
Model M-125 (Pole and Line tipe)



Fn = 0.30

Fn = 0.45

Fn = 0.55

Fn = 0.60

Fn = 0.70

図 43 M-125 1 船側波形
Wave profiles (M-125)

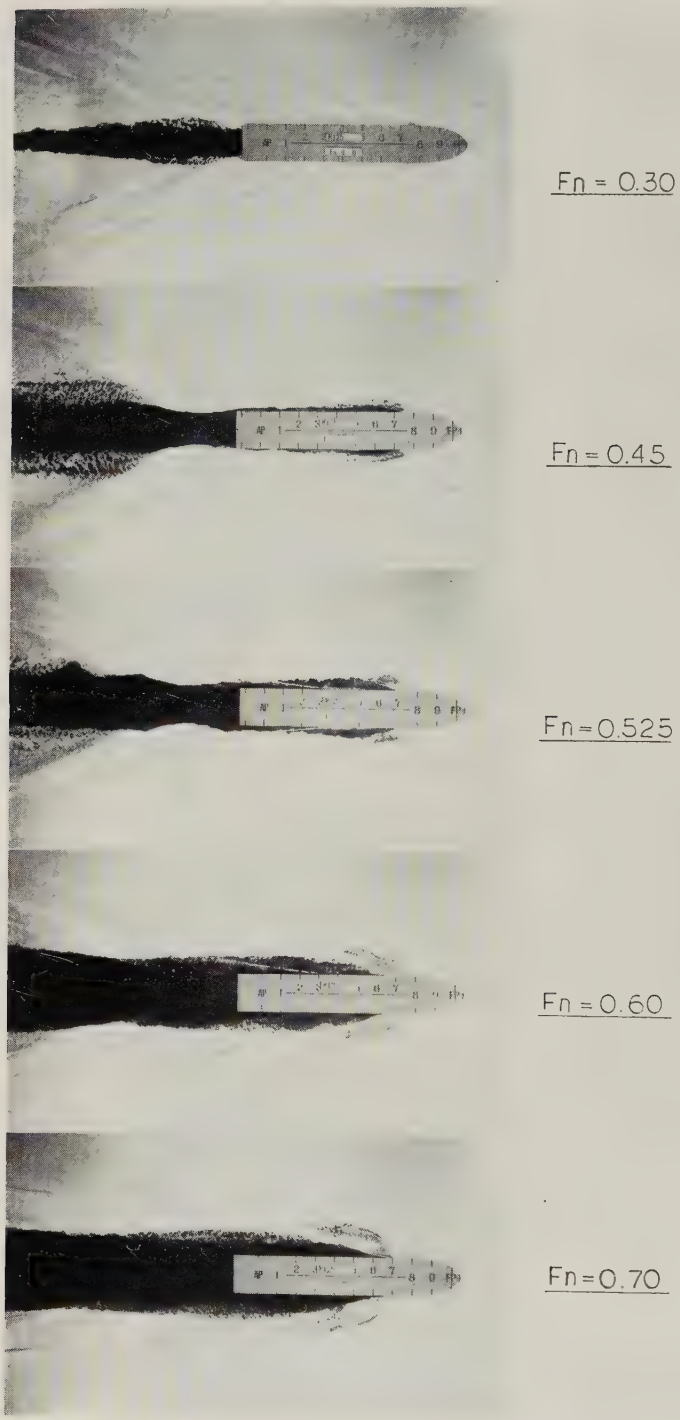
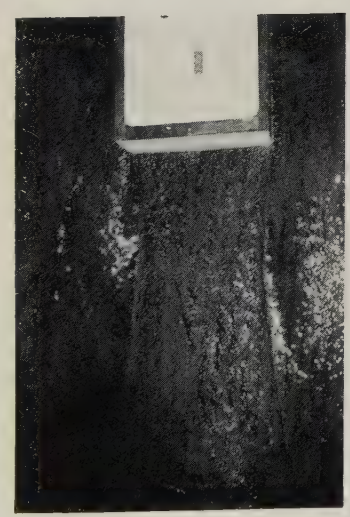


図 44 M 125-1 平面波形
Wave patterns (M-125-1)

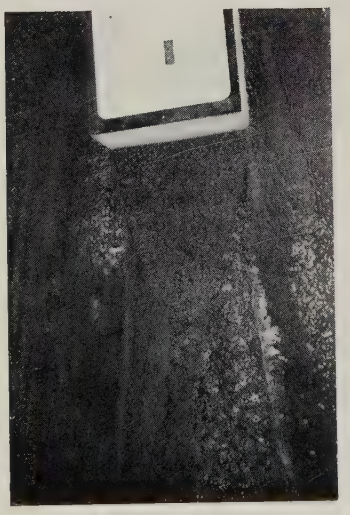
Fn = 0.4

Fn = 0.45

Fn = 0.5



Fn = 0.55



Fn = 0.6

Fn = 0.7

図 45 M 125-1 船尾部平面波形
Wave patterns at stern (M-125-1)

図 46 M-100-5 平面波形
Wave patterns (M-100-5)

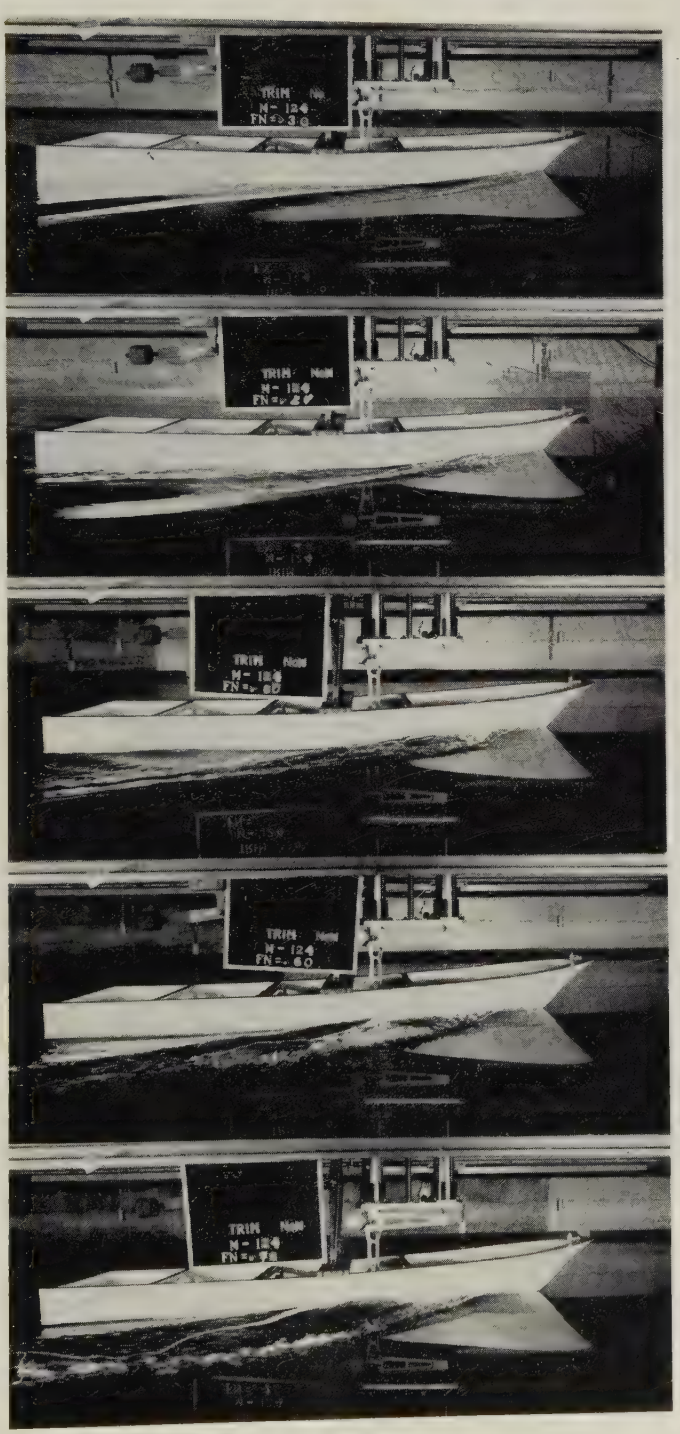


図 47 M-124-1 船側波形
Wave profiles (M 124-1)

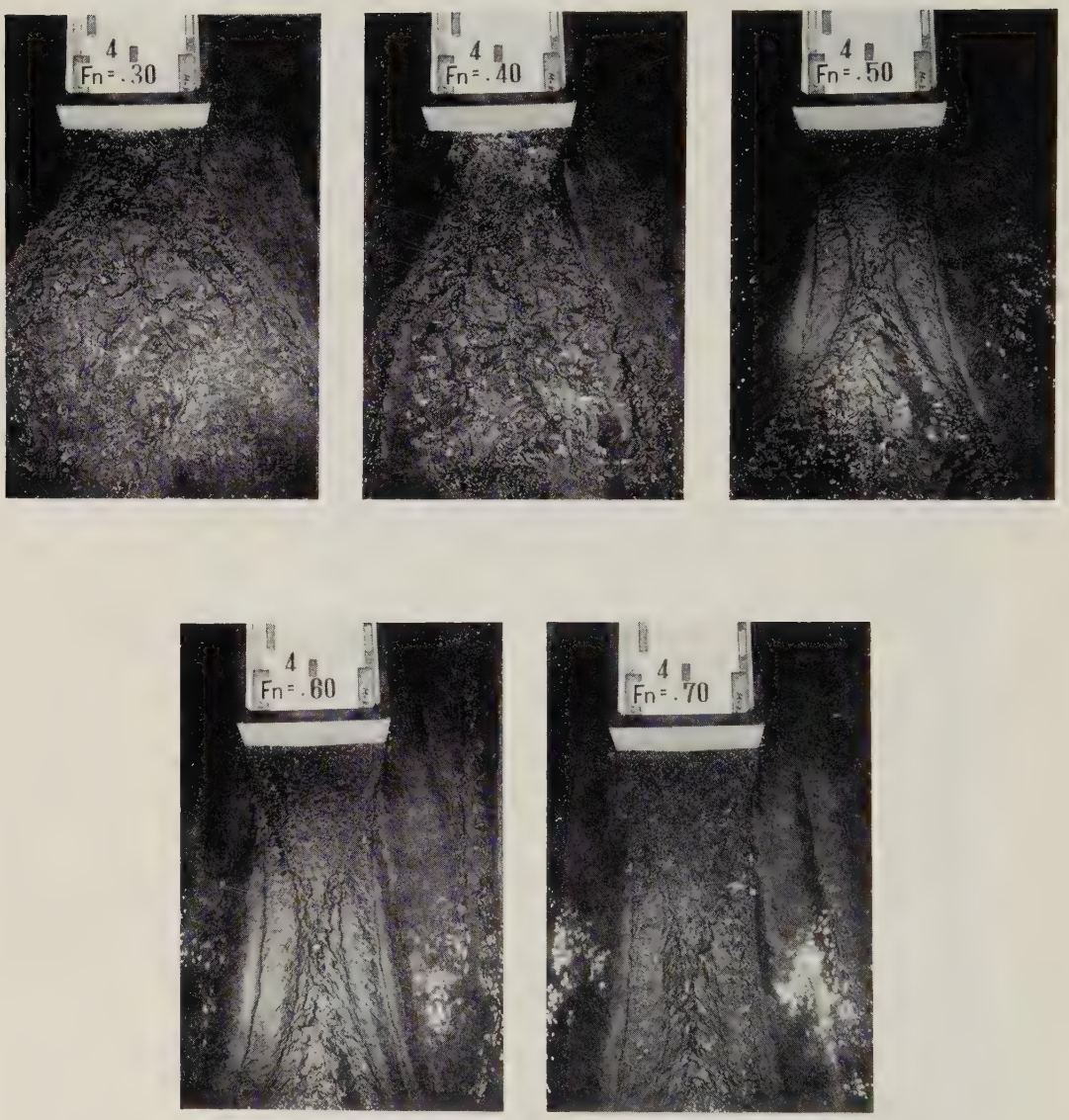


図 48 M 124 2 船尾部平面波形
Wave patterns at stern (M-124-2)

表 24　推進性能研究対象船一覧表（○印は試験結果のあるもの）
List of objective ships for study on propulsion

模型船番号	実船船質	漁船種類	船名	模型船の長さ L_{PP} (m)	自航試験	実船の長さ L_{PP} (m)	実船計測試験 トルク計測	実船計測試験 スラスト計測
M- 86	FRP	8トン型いか釣・棒受網兼具採取船	開北丸	—	—	13.00	○	—
M- 98	〃	曳縄釣漁船	海幸丸	2.00	○	11.85	○	—
M-100	〃	11.5 m 型一本釣専用漁船	標準設計	2.00	○	11.50	—	—
M- 57	木	19トン型まき網漁船	第2酒井丸	1.933	○	16.00	○	—
—	〃	12トン型まき網漁船	第5酒井丸	—	—	14.20	○	○
M- 7	〃	神奈川水試実験船	神永丸	2.00	○	8.10	—	—
—	FRP	一本釣漁船	日幸丸	2.90	○	11.80	○	○
—	〃	9トン型底曳網漁船	第2和丸	—	—	13.00	○	○
—	〃	一本釣漁船	A丸	2.90	○	11.00	○	○
—	〃	一本釣漁船	B丸	—	—	10.50	○	○

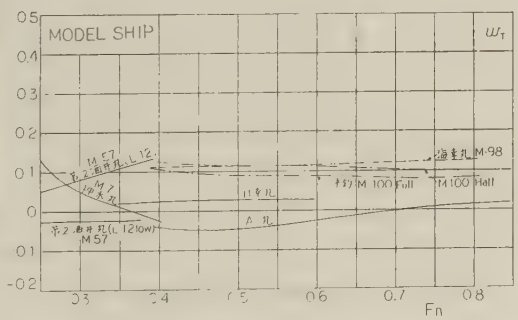


図 49　模型船の w_T 比較
Comparison of w_T for model ship

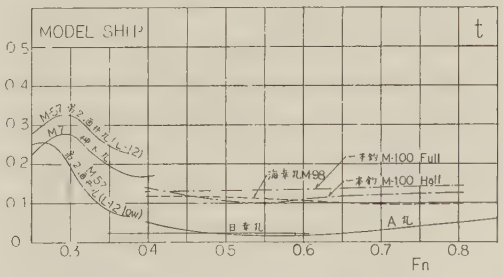


図 50　模型船の t 比較
Comparison of t for model ship

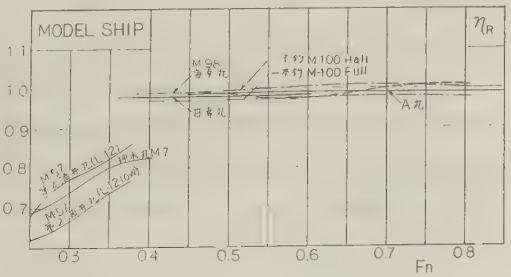


図 51　模型船の η_R 比較
Comparison of η_R for model ship

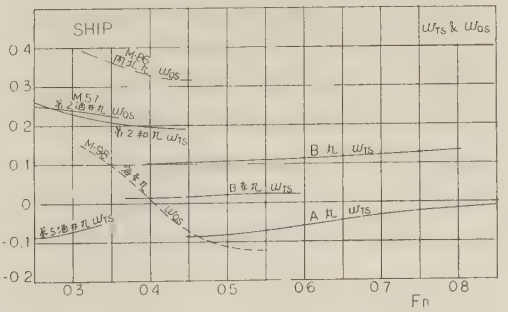


図 52　実船の w_{TS} 及び w_{QS} 比較
Comparison of w_{TS} and w_{QS} for actual ship

表 25　海幸丸 (M-98) 主要目
Principal dimensions of Kaiko-maru (M-98)

全長	L_{OA}	14.280 m
登録長	L_R	11.850 m
垂線間長	L_{PP}	11.850 m
最大幅（ブルワーク外面）		3.260 m
幅（外板の外側）	B	2.260 m
深さ（型）	D	0.885 m
L_R/B		5.24
L_R/D		13.39
B/D		2.35
主機関 型式×台数		いすず DH100×1
主機関 最大出力		120 PS×1,800 rpm
プロペラ 型式		固定ピッチ，3翼一体
プロペラ 直径×ピッチ×翼数		700 mm×570 mm×3
プロペラ 回転数		914 rpm
減速比		1.97 : 1
速力 計速時排水量		7.22 t
速力 同上最大速力		11.4 Kt
建造所		(株)嶋上造船所，和歌山県

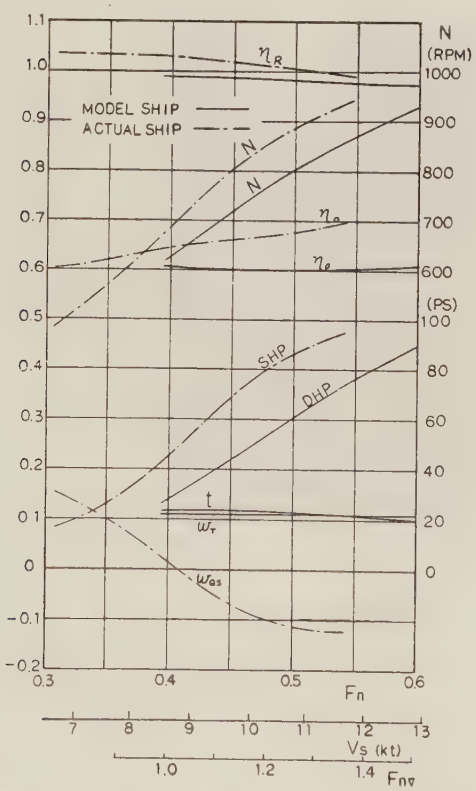


図 54　海幸丸・模型船と実船の自航要素等の比較
Comparison of self-propulsion factors between model ship and actual ship (Kaiko-maru)

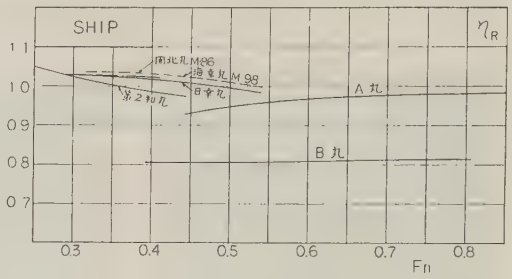


図 53　実船の η_R 比較
Comparison of η_R for actual ship

表 26　海幸丸 (M-98) 実船計測時状態
Condition of actual ship measurement of Kaiko-maru

施行年月日		昭和48年8月31日
出渠年月日		昭和48年8月 下旬
計測場所		和歌山県すさみ漁港外
天候		晴
風速		無風
海面状態		静穏
喫水 (BL上) 船首	d_F (m)	0.29
喫水 (BL上) 中央	d_M (m)	0.37
喫水 (BL上) 船尾	d_A (m)	0.45
トリム	Trim (m)	0.16
排水量	Δ (t)	7.22
水線長	L_{WL} (m)	12.46
水線幅	B_{WL} (m)	2.26
チヤイン幅	B_C (m)	2.26
プロペラ深度	(m)	0.54
方形係数	C_B	0.480
柱形係数	C_P	0.655
中央横断面係数	C_M	0.733
水線面積係数	C_W	—
チヤイン幅喫水比	B_C/T	5.870
排水容積長比	$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	6.485
浮心位置	LCB (%)	トランサムから 43.92 (L_{WL} の %)
ペロペラ 直径	D (m)	0.700　*(0.711)
ペロペラ ピッチ	P (m)	0.570　(0.500)
ペロペラ ピッチ比	P/D	0.814 (一定)　(0.700 一定)
ペロペラ 展開面積比	a_E	0.38 (推定)　(0.50)
ペロペラ 翼数	z	3　(3)
ペロペラ 翼断面形状		トルースト型 (UB)

* 右欄（ ）内は模型船自航試験に使用した標準プロペラ要目を実船に換算した値である。

表 27　日幸丸・主要目
Principal dimensions of Nikko-maru

全長	L_{OA}	14.680 m
登録長	L_R	11.800 m
垂線間長	L_{PP}	11.800 m
最大幅（ブルワーク外面）		3.000 m
幅（外板の外側）	B	2.500 m
深さ（型）	D	0.900 m
L_R/B		4.72
L_R/D		13.11
B/D		2.78
主機関 型式×台数		三井ドイツ F55R×1
主機関 最大出力		135 PS×2, 300 rpm
プロペラ 型式		固定ピッチ3翼一体型
プロペラ 直径×ピッチ×翼数		860 mm×800 mm×3
プロペラ 回転数		635 rpm
減速比		3.522 : 1
速力 計速時排水量		8.15 t
速力 同上最大速力		12.6 Kt
建造所		松川造船(株)，福島県

表 28　日幸丸・実船計測時状態
Condition of actual ship measurement of Nikko-maru

施行年月日	昭和51年10月6日	昭和51年10月17日
出渠年月日	昭和51年10月6日	
計測場所	相馬港防波堤上仮設標柱間（463 m）	
天候	晴	晴
風速	—	—
海面状態	波長の長いうねり	やや波あり
喫水(BL上) 船首 d_F (m)	0.450	
喫水(BL上) 中央 d_M (m)	0.470	
喫水(BL上) 船尾 d_A (m)	0.490	
トリム Trim (m)	0.040	
排水量 Δ (t)	8.15	
水線長 L_{WL} (m)	12.66	
水線幅 B_{WL} (m)	2.31	
チヤイン幅 B_C (m)	2.20	
プロペラ深度 (m)	0.78	
方形係数 C_B	0.514	
柱形係数 C_P	0.729	
中央横断面係数 C_M	0.706	
水線面積係数 C_W	0.895	
チヤイン幅喫水比 B_C/T	4.63	
排水容積長比 $L_{WL}/\nabla^{1/3}$	6.31	
浮心位置 LCB(%)	トランサムから47.7（L_{WL} の %）	
プロペラ 直径 D(m)	0.860	
プロペラ ピッチ P(m)	0.800	
プロペラ ピッチ比 P/D	0.930（一定）	
プロペラ 展開面積比 a_E	0.380	
プロペラ 翼数 z	3	
プロペラ 翼断面形状	トルースト型	

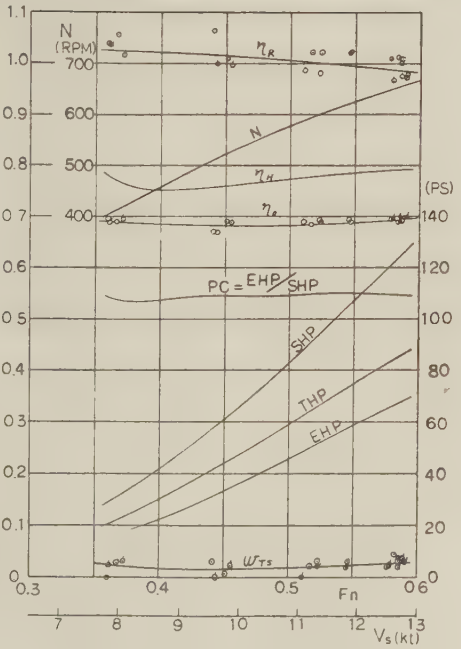


図 55　日幸丸・実船計測結果
Results of measurement on actual ship (Nikko-maru)

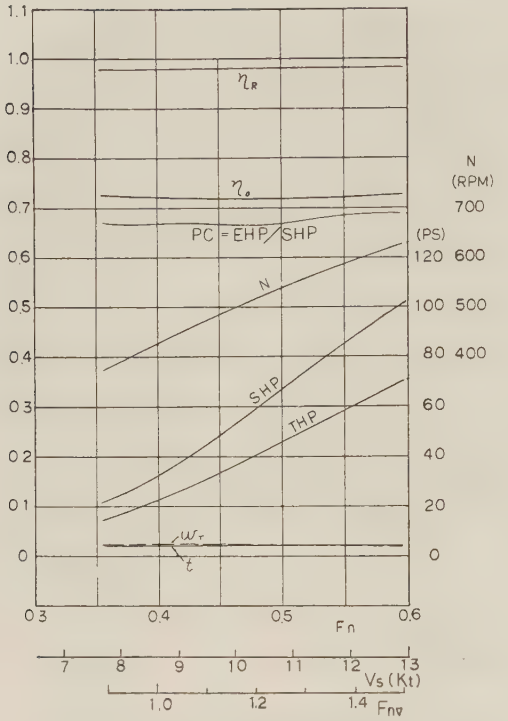


図 56 日幸丸・模型船自航試験結果
Results of self-propulsion test on model ship (Nikko-maru)

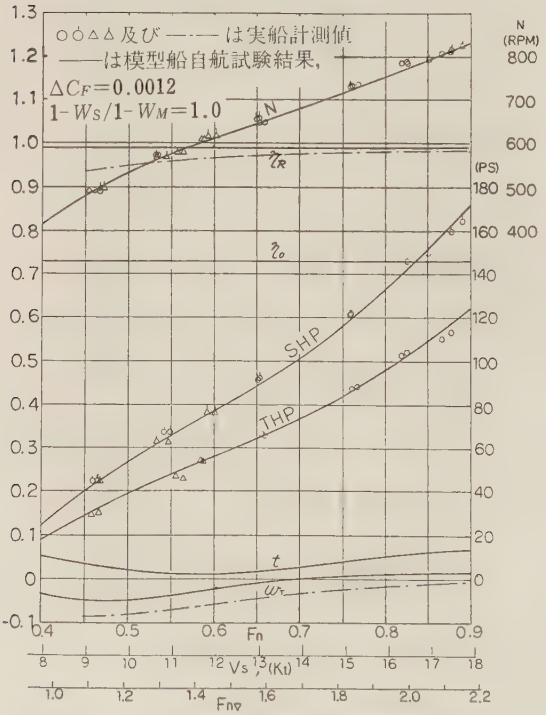


図 58 A丸・模型船と実船の自航要素等の比較
Comparison of self-propulsion factors between model ship and actual ship (A-maru)

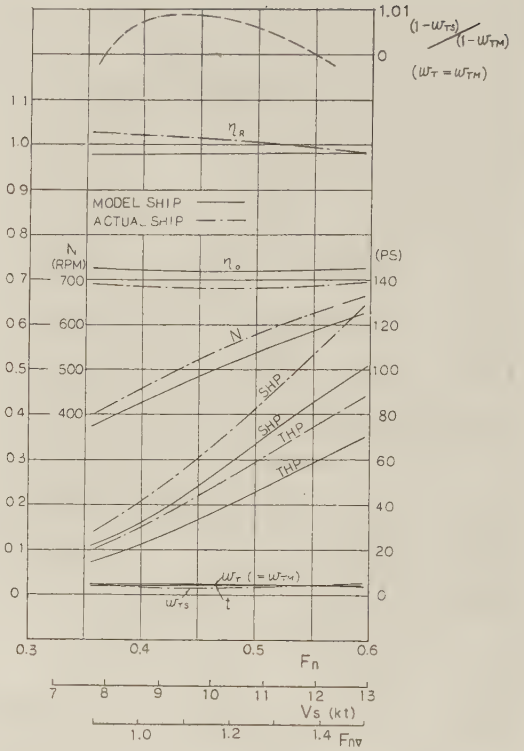


図 57 日幸丸・模型船と実船の自航要素等の比較
Comparison of self-propulsion factors between model ship and actual ship (Nikko-maru)

表 29 A 丸・主 要 目
Principal dimensions of A-maru

全長	L_{OA}	12.70 m
登録長	L_R	11.00 m
垂線間長	L_{PP}	11.00 m
最大幅（プルワーク外面）		2.90 m
幅（外板の外側）	B	2.40 m
深さ（型）	D	0.90 m
L_R/B		4.58
L_R/D		12.22
B/D		2.67
主機関 型式×台数		ヤンマーディーゼル(株)製×1
主機関 最大出力		155 PS×2,700 rps
プロペラ 型式		固定ピッチ3翼一体型
プロペラ 直径×ピッチ×翼数		890 mm×746 mm×3
プロペラ 回転数		705 rpm
減速比		3.83 : 1
速力 計速時排水量		6.24 t
速力 同上最大速力		17.72 Kt
建造所		共立レジンクラフト(株)，西海工場

表 30　A丸・実船計測時状態
Condition of actual ship measurement of A-maru

施行年月日		昭和53年8月9日
出渠年月日		昭和53年8月8日
計測場所		共立レジンクラフト㈱西海工場マイルポスト
天候		晴
風速		5 m/s
海面状態		平穏
喫水(BL上) 船首	d_F (m)	0.188
喫水(BL上) 中央	d_M (m)	0.409
喫水(BL上) 船尾	d_A (m)	0.630
トリム	Trim (m)	0.442
排水量	Δ (t)	6.24
水線長	L_{WL} (m)	10.69
水線幅	B_{WL} (m)	2.37
チヤイン幅	B_C (m)	2.34
プロペラ深度	(m)	0.86
方形係数	C_B	0.533
柱形係数	C_P	0.745
中央横断面係数	C_M	0.716
水線面積係数	C_W	0.802
チヤイン幅喫水比	B_C/T	5.80
排水容積長比	$L_{WL}/\nabla^{1/3}$	5.86
浮心位置	LCB(%)	トランサムから 40.8 (L_{WL} の %)
プロペラ 直径	D (m)	0.890
プロペラ ピッチ	P (m)	0.746
プロペラ ピッチ比	P/D	0.838
プロペラ 展開面積比	a_E	0.350
プロペラ 翼数	z	3
プロペラ 翼断面形状		トルースト型

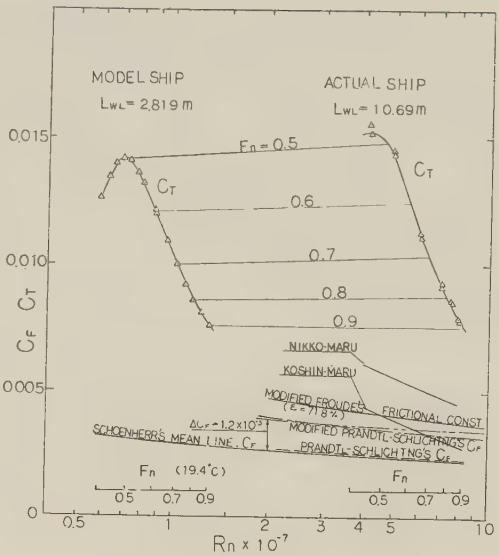


図 59　実船摩擦抵抗比較図
Comparison of frictional resistance for actual ship

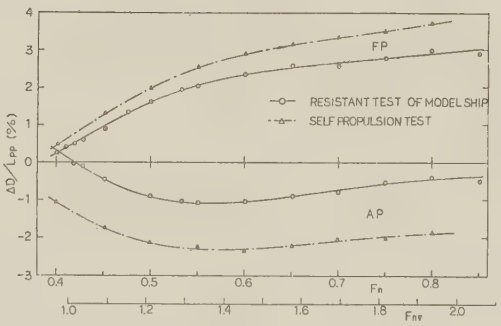


図 61-1　A丸・航走トリム変化
Change of running trim (A-maru)

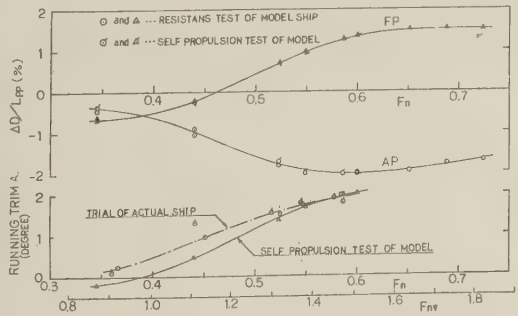


図 60　日幸丸・航走トリム変化
Change of running trim (Nikko maru)

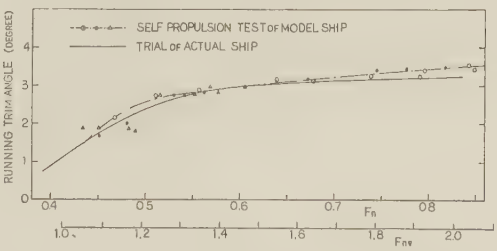


図 61 2　A丸・航走トリム変化
Change of running trim (A-maru)

表 31 自航要素等の概略値
Outline of self-propulsion factors

船型	伴流係数 w	プロペラ効率比 η_R	推進係数 PC
スケグ付 スケグ横断面積が大きいもの	0.10～0.20	0.80～0.95	0.43～0.50
スケグ付 スケグ横断面積が小さいもの	0.03～0.13	0.97～1.03	0.48～0.55
スケグなし	−0.10～0	0.95～0.98	0.53～0.57

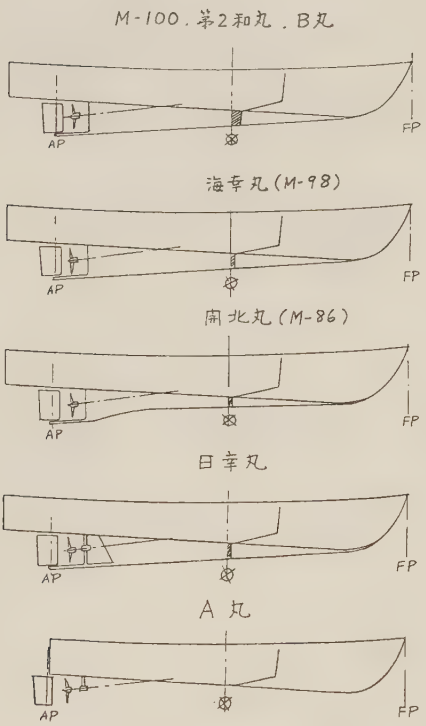
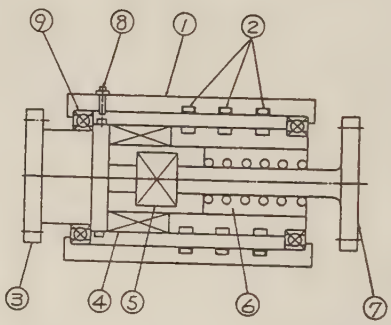


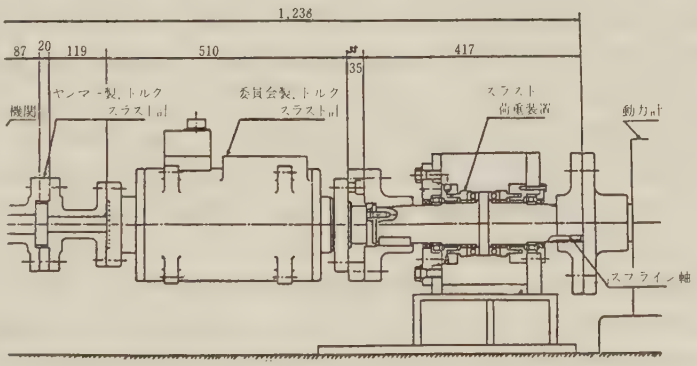
図 62 船型，スケグ等の説明図
Illustration of ship forms and skegs



(参考図) 実船トルクスラスト計装置概略図
Torque thrustmeter for actual ship. Out line

（参考） 実船トルクスラスト計要目表
Torque-thrust meter for actualship. Principal items

トルク（定格）	0～100 kg－m 正逆回転
スラスト（定格）	0～1,000 kg 正逆回転
回転数	0～1,500 RPM
過負荷	定格の2倍
検定装置の検定範囲	定格の$\frac{1}{5}$（トルク，スラスト共）
ねじり剛性（75φ軸換算）	49.5 t m/rad
ローター慣性モーメント	1.58 kg cm sec²
固有振動数（計算値）	
トルク	795.7 Hz
スラスト	281.7 Hz
ひずみ率	
トルク	1086.7 マイクロストレーン（4ゲージ）（計算値）
スラスト	3211.0 マイクロストレーン（4ゲージ）（計算値）
本体重量	87 kg
検定装置重量	約 40 kg



（参考図） 実船トルクスラストベンチテスト装置
Torque-thrust meter for actual ship. Apparatus of bench test

Study on Speed-performance of High Speed Coastal Fishing Boat

By

Tsutomu KOBAYASHI

Summary

On the Japanese coastal fishing boat, number of which are about four hundred thousand, from age of 1965 the FRP fishing boat were developed and now a lot of the traditional type wooden fishing boat are turnning into made of FRP. But, it is pointed out that the ship's form, which have the bad performance for propulsion, are included in these FRP fishing boats.

Owing to lightening of the weight for the FRP fishing boat's hull and fitting of the high power engine, the speed of these FRP fishing boats amounted to the undeveloped high speed range, F_n $(=v/\sqrt{Lg})$ of them is about 1.0. Therefore, this present day, there are many ship's forms of the energy-spending type.

It is plain that the greater part of the coastal fishing boat changes from made of wood to made of FRP, therefore it is necessary to clear the relation between the ship's form and the resistance of the FRP fishing boat, especially to plain the performance of propulsion in the high speed range, and to improve the ship's form, and to contribute of the saving energy and the improvement of operating efficiency for the fishing boat.

Owing to these background, this thesis intend to study for the performance of propulsion and to find out the methods of power estimation and the effective method of improvement of the ship's form for the high speed coastal fishing boat, whose forms are the hard chine transom stern type.

The speed performance were debated in the limit of permission for stability, and then studies were progressed, which were mainly the performance of resistance due to quality of ship's form, secondary the performance of propulsion for propeller and the correlation between the ship's form and the propeller.

The speed performance were debated seperately in the higher speed range and lower one, and the improvement of ship's forms were progressed, but for the performance of propulsion only confirmation of actual ships and model ships are progressed.

In such consideration as following studies were carried out.

(1) Statistic data of the high speed fishing boat
(2) Calculating formulas of the total resistance coefficient for actual ship
(3) Methods of the improvement for the ship's form
(4) Comfirmations by the model ships (example for practical use of the improvement of the ship's form and experiments on the towing tank)
(5) Comfirmation of the performance of propulsion

1. Statistic data of the high speed fishing boat

For objects of the hard chine transom stern type, total number 146 of resistance test data (21 ships) were prepared, which included 105 of existing resistance test data (14 ships) of the traditional wooden Japanese type fishing boat and the wooden Japanese and foreign type one, and 41 of new resistance test data (7 ships) of the FRP fishing boat.

The total resistance coefficient were expressed to $r_T=R_T/\frac{1}{2}\rho\nabla^{2/3}v^2$, and they were converted into the resistance coefficients of actual ship (r_{10}) corresponding to average displacement 10 tons for the high speed coastal fishing boat, and they are expressed to following formula.

$$r_{10}=r_{TM}-\frac{S_M}{\nabla_M^{2/3}}\{(C_{FOM}-C_{FO10})-C_F\} \qquad \text{(two dimentional analysis)}$$

Speed are expressed to $F_{n\nabla}=v/\sqrt{\nabla^{1/3}g}$

Speed ranges are fixed the boundary at the last hump, and a lower range than $F_{n\nabla}=1.2$ ($F_n\fallingdotseq 0.5$) are designated the lower speed range and a higher range than $F_{n\nabla}=1.2$ are designated the higher speed range.

It has become clear that the estimation of the total resistance were possible on the higher speed range, $F_{n\nabla}=1.2\sim2.1$ ($F_n=0.5\sim0.9$), by 4 ship's form parameters ($L_{WL}/\nabla^{1/3}$, $B_{CT}/\nabla^{1/3}$, LCB, α_{BS}) and on the lower speed range, $F_{n\nabla}=0.7\sim1.2$ ($F_n=0.3\sim0.5$), by 8 ship's form parameters (addition of $T_T/\nabla^{1/3}$, B_C/T, C_P and A_K/A)

2. Calculating formulas of the total resistance coefficient for actual ship

It is supposed that the total resistance coefficient (r_{TS}) at some $F_{n\nabla}$ of the high speed fishing boat are changed owing to influence of the ship's form parameters, it is able to expresse following formula.

$r_{TS}=f(L_{WL}/\nabla^{1/3},\ B_{CT}/\nabla^{1/3},\ LCB,\ \alpha_{BS}\cdots\cdots)$

These formulas are able to develope to a multinominal expression, and r_{TS} are estimated by the multiple regression analysis.

Estimate Y_α are expressed following formula.

$Y_\alpha=a_0+a_1X_{1\alpha}+a_2X_{2\alpha}+a_3X_{3\alpha}+\cdots\cdots+a_PX_{P\alpha}\ \ (\alpha=1,2,\cdots,n)$

$X_{i\alpha}$ in this formula is expressed to a normalizaed formula by a mean value $\bar{x}_i$ of the values of voluntary ship's form parameters.

$$X_{i\alpha}=\frac{x_{i\alpha}-\bar{x}_i}{\sigma_i}\times k$$

Here σ_i is a standard deviation, k is a regulation factor, a_0 is a regression constant and a_i is a partial regression coeffecient.

The calculating formula (16) of the total resistance coefficient (r_{10}) on the lower speed range ($F_{n\nabla}=0.7\sim1.2$) are made up of 36 terms, and the calculating formula (17) of r_{10} on the higher speed range ($F_{n\nabla}=1.2\sim2.1$) are made up 15 terms.

Generally the calculated effect horse powers and the measured effective horse powers by the model test are agreeable very well, excepting some singular conditions.

The t-test of significance for the partial regression coefficients are carried out, and the degree of contribution of weighted each terms with the product of the standard deviation by the partial regression coefficient are tested.

Therefore, it has become possible to estimate resistance all speed range in accuracy (±7.5%) which there is no trouble in actual use.

3. Methods of the improvement for the ship's form

Two kinds of the estimating table for the total resistance coefficient (γ_{10}) and two kinds of the contour were made by useing of the calculating formula (16) of γ_{10} for the lower speed range and (17) for the higher speed range.

Making use of these, ship's form parameters were investigated, which were constructed the minimum resistance ship's form, and the adaptation to the high speed coastal fishing boats, which had characteristic of ship's forms distinctly due to a kind of fishing, were tried.

The minimum resistance ship's form in " the severe ranges of the ship's form parameter of the calculating formula" were adapted to a small trawler type (M-124), and the minimum one in "the generous ranges of the ship's form parameter" were adapted to a pole and line fishing boat type (M-125).

It has become clear by the estimating table and the estimating calculations that M-124 has been expected the decrease of resistance, at the designed speed $F_{n\nabla}=1.6$ about 27% than the aforesaid existing small trawler, which had low resistance, and similary M-125 at $F_{n\nabla}=1.8$ about 23~28% than the existing pole and line fishing boats.

4. Confirmation of the improved ship's forms

In order to confirm the performance of the improved ship's forms, the model tests which were the measurement of waves and the photographing of wave patterns were carried out on the experimental tank of Tokyo University.

At results of the resistance test of M-124, the effects of improvement are more difinte than the designed plan, and the decrease of resistance than the aforesaid existing fishing boat are 33 and 34% at $F_{n\nabla}=1.6$ and 1.8. Samely at M-125, the effects of improvement are more few, and the decrease of resistance than the aforesaid existing fishing boat are 17, 20 and 22% at $F_{n\nabla}=1.6$, 1.8 and 2.0.

The measurement of waves were carried out, and the wave analysis by the method of Newman-Sharrma were performed and the photographing of wave pertterns were caried out.

Consequently an aspect of wave-making phenomena due to the change of F_n for the high speed coastal fishing boat has become distinct. At the same time, the nesessity for the analyzing of the element of resistance in the lower speed range of the hard chine transom stern type has become distinct.

5. Confirmations of the performance of propulsion

The improvements of ship's forms on the performance of resistance finally have to be reflected to the improvement on the performance of propulsion.

Therefore, the results of the self-propulsion test of models and the experiment of actual ships were arranged, which were carried out during the past about twenty years, and were made for the materials owing to comfirm the performance of propulsion.

The torque and thrust of propeller shaft of the actual ship were measured, and were compared with the calculated values from the self-propulsion tests of models.

It has become clear that the values of the shaft horse power (SHP) of these actual

ships were higher 15～20% than the values of SHP wich were calculated from the results of the self-propulsion test of the similar models by $\Delta C_F = 0.4 \times 10^{-3}$.

If ΔC_F are assumed to 1.2×10^{-3} for the ship's form without skeg and 2.5×10^{-3} for with skeg, aforesaid both SHP will be agreeable.

As a result of these, the badness of the performance for the small ships has been confirmed again, and it has become distinct that these are main theme of studies from now.

The improvement of the self-propulsion factors were debated, so that the relation between the ship's form and the self-propulsion factor and the roughly estimated values of the propulsive coefficients (EHP/SHP) by the material until now are shown, and a guide of the estimation of power are made.

水工研報告 5
1984 p.p.185～205

Resistance Variation and Surf-riding of a Fishing Boat in Following Sea

By

Naoya UMEDA*

Contents

Nomenclature ····185
1. Introduction ····186
2. Resistance variation in following sea ····186
2.1 Coordinate systems and formulization ····186
2.2 Velocity potential ····188
2.3 Analytical representation of resistance variation ····190
2.4 Captive model experiment ····194
2.5 Comparison between calculation and experiment ····196
3. Motion involving the surf-riding ····197
3.1 Equation of motion ····198
3.2 Free running model experiment ····198
3.3 Comparison between simulation and experiment ····199
4. Conclusion ····201
Acknowledgement ····202
References ····202
Appendix ····203

Nomenclature

G	center of gravity of a ship	q	nonhomogenious term in the hull surface condition
H	wave height	u	perturbation velocity in x direction
K	wave number	v	perturbation velocity in y direction
L	ship length	w	perturbation velocity in z direction
M_{FK}	trim moment based on the Froude-Krylov hypothesis	Φ	velocity potential
S_0	the projection of the under water portion of the hull surface on the center vertical plane $y=0$	γ	nonhomogenious term in the free surface condition
U	ship speed	ζ	wave elevation
X	longitudinal force	ζ_G	sinkage
X_{FK}	longitudinal force based on the Froude-Krylov hypothesis	θ	trim angle
Z_{FK}	vertical force based on the Froude-Krylov hypothesis	λ	wave length
a	wave amplitude	ϕ	perturbation velocity potential
g	gravity acceleration	ρ	water density
p	water pressure	$[L]$	Laplace's equation
p_0	atomospheric pressure	$[H]$	hull surface condition
		$[F]$	free surface condition
		$[\infty]$	infinity condition
		$[R]$	radiation condition

* Fishing Boat and Instrument Department

1. Introduction

A small high speed ship is very danger when travelling in heavy following sea. The ship is accelerated on the front slope of a wave and her velocity becomes nearly the same as the wave celerity. We call this phenomenon surf-riding. And then she will suddenly yaw from her desired course despite application of maximum opposite rudder. This is known as broaching-to phenomenon. So we must investigate the surf-riding to understand the broaching-to. If we can find the method to prevent the surf-riding, ships can sail without the broaching-to.

There have been several attempts to study the phenomenon of surf-riding experimentally[1,2,5] or theoretically[3~6]. This present study dealed with this phenomenon both experimentally and theoretically. As the first step the author ignored the effects of lateral motion and heading angle to wave.

The likelihood of surf-riding depends mainly on the resistance variation in following sea. So we must investigate the resistance variation. Then we attempted to find the mechanism of surf-riding.

Recently the Froude number of small fishing boats becomes much larger. And they are often operated in heavy sea state. Therefore from a point of surf-riding or broaching-to, such small fishing boats are very danger. This is the reason that this paper concerned a fishing boat.

2. Resistance variation in following sea

In order to study on the surf-riding, we need to investigate how the resistance varies in following sea. In the case of following sea like as surf-riding, the encounter frequency between a ship and wave is very low. So the resistance variation in following sea does not well depend on the encounter frequency. This chapter dealed with the situation that the velocity of a ship is equal to the wave celerity for simplicity. In this paper the author called this situation the "running-with-a-wave" condition. This may be regarded as a typical case of surf-riding.

The previous theoretical studies[3,8] had used the Froude-Krylov hypothesis. Therefore they didn't discuss the effect of the forward velocity sufficiently. So the author used a rational hydrodynamic method to examine the previous method. But as the first step the viscous effect was ignored because the Froude number is assumed very high. As the theoretical procedure the higher order thin ship theory in still water[9] was expanded to the "running-with-a-wave" condition. Furthermore the captive model experiments were carried out to compare them with the theoretical results.

2.1 Coordinate systems and formulization

The system of coordinates for this problem is a right hand system as shown in Fig. 1. G-$\bar{x}\bar{y}\bar{z}$ is a coordinate fixed in ship. O'-xyz is a inertial coordinate for which the origin O' is taken above the center of gravity of ship G. O-$\xi\eta\zeta$ is another inertial coordinate for which the origin O is taken above the trough of an incident wave. When the trim angle θ is small, the transformation formulas of coordinates can be expressed as follows;

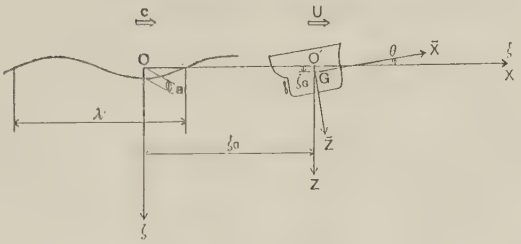


Fig. 1 Coordinate

$$\left.\begin{aligned}\bar{x}&=x-\theta(z-\zeta_G)\\ \bar{y}&=y\\ z&=z-\zeta_G+\theta x\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(1)$$

This problem is regarded as a steady motion because a ship advances with the wave celerity. The fluid is assumed to be inviscid and incompressible, and the effect of surface tension can be disregarded.

Take the velocity potential and wave elevation by

$$\left.\begin{aligned}\Phi&=-Ux+\phi_w+\phi_s\\ \zeta&=\zeta_w+\zeta_s\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(2)$$

Subscripts w and s indicate the incident wave and disturbance respectively.

Then the free surface condition, the hull surface condition and conditions at infinity must be satisfied. So Laplace's equation and these boundary conditions construct a nonlinear boundary value problem. Now let us employ the regular perturbation method to linearlize this problem. Perturbation parameters are chosen as follows,

$$\left.\begin{aligned}a/\lambda&=0(\varepsilon)\\ B/L&=0(\beta)\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(3)$$

The former is associated to the incident wave and the latter is associated to the hull form. If these parameters are small, one can expand the velocity potential, sinkage and trim in power series such as

$$\left.\begin{aligned}\phi_s&=\beta\phi^{(1)}+\beta^2\phi^{(2)}+\varepsilon\beta\phi_*{}^{(2)}+\cdots\\ \phi_w&=\varepsilon\phi_w{}^{(1)}+\varepsilon^2\phi_w{}^{(2)}+\cdots\\ \zeta_G&=\beta h^{(1)}+\varepsilon h_w{}^{(1)}+\cdots\\ \theta&=\beta\theta^{(1)}+\varepsilon\theta_w{}^{(1)}+\cdots\end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots(4)$$

Here non-subscript denotes the running disturbance in still water. And Subscript w and * denote the incident wave and the interaction respectively.

The breadth and the draft of the hull surface can be also expand into series in terms of ε and β as,

$$\begin{aligned}y&=f(x,z)\\ &=\beta f_1(x,z)+\beta^2\left\{-\theta^{(1)}z\frac{\partial f_1}{\partial z}-(h^{(1)}-\theta^{(1)}x)\frac{\partial f_1}{\partial z}\right\}\\ &\quad+\varepsilon\beta\left\{-\theta_w{}^{(1)}z\frac{\partial f_1}{\partial x}-(h_w{}^{(1)}-\theta_w{}^{(1)}x)\frac{\partial f_1}{\partial z}\right\} \quad \cdots\cdots(5)\end{aligned}$$

$$\tau=\beta\tau^{(0)}+\beta^2\left(h^{(1)}-\theta^{(1)}x-\theta^{(1)}\tau^{(0)}\frac{\partial\tau^{(0)}}{\partial x}\right)$$
$$+\varepsilon\beta\left(h_w{}^{(1)}-\theta_w{}^{(1)}x-\theta_w{}^{(1)}\tau^{(0)}\frac{\partial\tau^{(0)}}{\partial x}\right) \quad \cdots\cdots(6)$$

By using these results, one gets the linear boundary value problems of the respective order.

$$\left.\begin{array}{ll}
[L] & \dfrac{\partial^2\phi^{(i)}}{\partial x^2}+\dfrac{\partial^2\phi^{(i)}}{\partial y^2}+\dfrac{\partial^2\phi^{(i)}}{\partial z^2}=0 \\
[H] & \dfrac{\partial\phi^{(i)}}{\partial y}=\dfrac{1}{2}q^{(i)}(\phi^{(i-1)}) \quad \text{on } y=0 \\
[F] & \dfrac{U^2}{g}\dfrac{\partial^2\phi^{(i)}}{\partial x^2}-\dfrac{\partial\phi^{(i)}}{\partial z}=\gamma^{(i)}(\phi^{i-1)}) \quad \text{on } z=0 \\
[\infty] & \phi^{(i)}=0 \qquad y\to\pm\infty,\ z\to\infty \\
[R] & \sqrt{x}\,\phi^{(i)}\to 0 \qquad x\to\infty
\end{array}\right\} \quad \cdots\cdots(7)$$

One must include the second order terms to consider the effect of the incident wave on the disturbance velocity potential.

2.2 Velocity potential

Considering two nonhomogenious boundary conditions, the velocity potential can be determined by the Green's formula.

The velocity potential $\phi^{(1)}$ is equal to the well-known result of the thin ship theory in still water.

$$\phi^{(1)}=\frac{1}{2\pi}\iint_{S_0}U\frac{\partial f_1}{\partial x}G(x,y,z,x',0,z')\,dx'\,dz' \quad \cdots\cdots(8)$$

G is the Green function of the steady forward motion and given by

$$G(x,y,z,x',y',z')$$
$$=-\frac{1}{4\pi}\left(\frac{1}{\sqrt{(x-x')^2+(y-y')^2+(z-z')^2}}-\frac{1}{\sqrt{(x-x')^2+(y-y')^2+(z+z')^2}}\right)$$
$$-\frac{K}{\pi}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}+\Theta}\sec^2\alpha\,e^{-K(z+z')\sec^2\alpha}\sin(Kp\sec^2\alpha)\,d\alpha$$
$$-\frac{K^2}{2\pi}\int_{-\frac{\pi}{2}}^{\frac{\pi}{2}}\sec^2\alpha\,d\alpha\int_0^\infty\frac{1}{k^2+K^2\sec^4\alpha}[k\cos k(z+z')-K\sec^2\alpha\sin k(z+z')]e^{-k|p|}\,dk$$

where
$$p=(x-x')\cos\alpha+(y-y')\sin\alpha$$
$$\Theta=\tan^{-1}\{(y-y')/(x-x')\}$$
$$K=g/U^2 \quad \cdots\cdots(9)$$

And $\phi^{(2)}$ is equal to the result of the Maruo's higher order thin ship theory in still water[9] corrected by Takagi[10]. $\phi^{(1)}$ and $\phi^{(2)}$ enable us to calculate the wave-making resistance in still water.

$\phi_w{}^{(1)}$ and $\phi_w{}^{(2)}$ are the velocity potential of the incident wave. The first order boundary value problem is given as follows;

$$\left.\begin{aligned}
&[L]\quad \frac{\partial^2\phi_w^{(1)}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\phi_w^{(1)}}{\partial z^2}=0 \\
&[F]\quad \frac{\partial^2\phi_w^{(1)}}{\partial x^2}-K\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial z}=0 \quad \text{on} \quad z=0 \\
&[\infty]\quad \operatorname{grad}\phi_w^{(1)}\to 0 \qquad\qquad z\to\infty \\
&[R]\quad \sqrt{x}\,\phi_w^{(1)}\to 0 \qquad\qquad x\to\infty
\end{aligned}\right\} \cdots\cdots (10)$$

So one can get the well known potential and wave elevation of a plane progressive wave.

$$\left.\begin{aligned}
&\phi_w^{(1)}=-a\sqrt{\frac{g}{K}}e^{-Kz}\sin K(x+\xi) \\
&\zeta_w^{(1)}=a\cos K(x+\xi)
\end{aligned}\right\} \cdots\cdots (11)$$

Next, the second order problem is given as follows,

$$\left.\begin{aligned}
&[L]\quad \frac{\partial^2\phi_w^{(2)}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\phi_w^{(2)}}{\partial z^2}=0 \\
&[F]\quad \frac{\partial^2\phi_w^{(2)}}{\partial x^2}-K\frac{\partial\phi_w^{(2)}}{\partial z}=\gamma_w^{(2)}(\phi_w^{(1)}) \quad \text{on} \quad z=0 \\
&[\infty]\quad \operatorname{grad}\phi_w^{(2)}\to 0 \qquad\qquad z\to\infty \\
&[R]\quad \sqrt{x}\,\phi^{(2)}\to 0 \qquad\qquad x\to\infty
\end{aligned}\right\} \cdots\cdots (12)$$

$$\gamma_w^{(2)}=-U\frac{\partial^3\phi_w^{(1)}}{\partial x^2\partial z}\zeta_w^{(1)}-U\frac{\partial^2\phi_w^{(1)}}{\partial x\partial z}\frac{\partial\zeta_w^{(1)}}{\partial x}+\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x}\frac{\partial^2\phi_w^{(1)}}{\partial x^2}$$
$$+\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial z}\frac{\partial^2\phi_w^{(1)}}{\partial x\partial z}+\frac{g}{U}\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x}\frac{\partial\zeta_w^{(1)}}{\partial x}+\frac{g}{U}\frac{\partial^2\phi_w^{(1)}}{\partial z^2}\zeta_w^{(1)} \quad \text{on} \quad z=0 \cdots\cdots (13)$$

Substituting (11) in (13),

$$\gamma_w^{(2)}=0 \quad \text{on} \quad z=0 \cdots\cdots (14)$$

So the second order velocity potential and wave elevation of the incident wave are given by,

$$\left.\begin{aligned}
&\phi_w^{(2)}=0 \\
&\zeta_w^{(2)}=-\frac{1}{2}Ka^2\cos 2K(x+\xi)
\end{aligned}\right\} \cdots\cdots (15)$$

That is to say, the incident wave is equivalent to the wave generated by a two dimensional source advancing at $x=\infty$. And a source distribution on xy plane is not required.

Then the interaction velocity potential between the incident wave and the hull $\phi_*^{(2)}$ is derived from the following formulas.

$$\left.\begin{aligned}
&[L]\quad \frac{\partial^2\phi_*^{(2)}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\phi_*^{(2)}}{\partial y^2}+\frac{\partial^2\phi_*^{(2)}}{\partial z^2}=0 \\
&[H]\quad \frac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial y}=\frac{1}{2}q_*^{(2)}(\phi^{(1)},\phi_w^{(1)}) \qquad \text{on} \quad y=0 \\
&[F]\quad \frac{U^2}{g}\frac{\partial^2\phi_*^{(2)}}{\partial x^2}-\frac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial z}=\gamma_*^{(2)}(\phi^{(1)},\phi_w^{(1)}) \quad \text{on} \quad z=0 \\
&[\infty]\quad \phi_*^{(2)}\to 0 \qquad\qquad y\to\pm\infty,\ z\to\infty \\
&[R]\quad \sqrt{x}\,\phi_*^{(2)}\to 0 \qquad\qquad x\to\infty
\end{aligned}\right\} \cdots\cdots (16)$$

$$\gamma_*^{(2)}=\frac{\partial^2\phi^{(1)}}{\partial x^2}\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x}+\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial x}\frac{\partial^2\phi_w^{(1)}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\phi^{(1)}}{\partial x\partial z}\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial z}+\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial z}\frac{\partial^2\phi_w^{(1)}}{\partial x\partial z}$$
$$+\frac{U^2}{g}\frac{\partial^2\phi_w^{(1)}}{\partial x^2\partial z}\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial x}+\frac{U^2}{g}\frac{\partial^2\phi_w^{(1)}}{\partial x\partial z}\frac{\partial^2\phi^{(1)}}{\partial x^2}+\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x}\frac{\partial^2\phi^{(1)}}{\partial x^2}+\frac{\partial^2\phi_w^{(1)}}{\partial z^2}\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial x}$$
$$-\frac{g}{U}\frac{\partial^2\phi^{(1)}}{\partial z^2}\zeta_w^{(1)}-U\frac{\partial^3\phi^{(1)}}{\partial x^2\partial z}\zeta_w^{(1)}-U\frac{\partial^2\phi^{(1)}}{\partial x\partial z}\frac{\partial\zeta_w^{(1)}}{\partial x}+\frac{g}{U}\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial x}\frac{\partial\zeta_w^{(1)}}{\partial x} \quad \cdots\cdots(17)$$

Finally, $\phi_*^{(2)}$ is given by

$$\phi_*^{(2)}=-\frac{1}{2\pi}\iint_{S_0}U\left\{\theta_w^{(1)}z'\frac{\partial^2 f_1}{\partial x'^2}-\theta_w^{(1)}\frac{\partial f_1}{\partial z'}+(h_w^{(1)}-\theta_w^{(1)}x')\frac{\partial^2 f_1}{\partial x'\partial z'}\right\}G(x,y,z,x',0,z')\,dx'\,dz'$$
$$+\frac{1}{2\pi}\int_L U\left(h_w^{(1)}-\theta_w^{(1)}x'-\theta_w^{(1)}\tau^{(0)}\frac{\partial\tau^{(0)}}{\partial x'}\right)\frac{\partial f_1(x,\tau^{(0)})}{\partial x'}G(x,y,z,x',0,\tau^{(0)})\,dx'$$
$$-\frac{1}{2\pi}\iint_{S_0}\left\{\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x'}\frac{\partial f_1}{\partial x'}+\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial z'}\frac{\partial f_1}{\partial z'}\right\}G(x,y,z,x',0,z')\,dx'\,dz'$$
$$-\frac{1}{2\pi}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{0}\left[\gamma_*^{(2)}\right]_{z=0}G(x,y,z,x',y',0)\,dx'\,dy' \quad \cdots\cdots(18)$$

The first term and the second term indicate the effect of the attitude variation which is caused by the incident wave. The third term indicates the diffraction effect of the incident wave. And the fourth term is related to the nonlinearity of the free surface condition.

That is to say, this velocity potential is composed by a source distribution on the center plane of hull $y=0$ and a source distribution on the undisturbed water plane $z=0$.

2.3 Analytical representation of resistance variation

There are some methods to obtain hydrodynamic forces from a velocity potential. The integral of fluid pressure over the hull surface is most familiar. The Froude-Krylov force is also obtained by the integral of fluid pressure. But such method doesn't tell us the physical interpretation of hydrodynamic forces. So the author used the momentum analysis to realize the substance of the resistance variation in wave.

The control surfaces are $x=\pm\infty$, $z=0$, $z=\infty$ and $y=\pm\infty$. And $y=\pm\infty$ are chosen to exclude the divergence of Kelvin waves.

The perturbation velocities are expressed as follows;

$$\left.\begin{array}{lll} u=\dfrac{\partial\phi^{(1)}}{\partial x}+\dfrac{\partial\phi^{(2)}}{\partial x} & v=\dfrac{\partial\phi^{(1)}}{\partial y}+\dfrac{\partial\phi^{(2)}}{\partial y} & w=\dfrac{\partial\phi^{(1)}}{\partial z}+\dfrac{\partial\phi^{(2)}}{\partial z} \\ u_w=\dfrac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x} & w_w=\dfrac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial z} & \\ u_*=\dfrac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial x} & v_*=\dfrac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial y} & w_*=\dfrac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial z} \end{array}\right\}\cdots\cdots(19)$$

And the pressure equation becomes

$$p-p_0=\rho gz+\frac{\rho}{2}\{U^2-(-U+u+u_w+u_*)^2-(v+v_*)^2-(w+w_w+w_*)^2\} \quad \cdots\cdots(20)$$

where p_0 is the atomospheric pressure.

According to the momentum theorem,

$$\iint_{x=-\infty}\rho(-U+u_w)^2\,dz\,dy-\iint_{x=-\infty}\rho(-U+u+u_*+u_w)^2\,dz\,dy$$
$$-\iint_{z=0}\rho(w+w_w+w_*)(-U+u+u_w+u_*)\,dx\,dy$$
$$=-X_F+\iint_{x=-\infty}(p-p_0)dz\,dy-\iint_{x=\infty}(p-p_0)\,dz\,dy \quad \cdots\cdots(21)$$

After some calculation by means of the condition of continuity and the characteristics of the incident wave, the londitudinal force is given by,

$$X_F=\rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_0^{\infty}\left[\frac{u^2}{2}+\frac{u_*^2}{2}+uu_*+uu_w+u_*u_w-\frac{v^2}{2}-\frac{v_*^2}{2}-vv_*-\frac{w^2}{2}-\frac{w_*^2}{2}\right.$$
$$\left.-ww_*-ww_w-w_*w_w\right]_{x=-\infty}dz\,dy$$
$$+\rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\left[uw+uw_*+uw_w+u_*w+u_*w_*+u_*w_w+u_ww+u_ww_*\right]_{z=0}dx\,dy \cdots(22)$$

Next, we must consider the two additional components. One is the momentum change on the plane ΔS_F which is the hull surface projected on the undisturbed water surface $z=0$, such as

$$\Delta X_\alpha=-\rho\iint_{\Delta S_F}\left[uw+uw_*+uw_w+u_*w+u_*w_*+u_*w_w+u_ww+u_ww_*\right]_{z=0}dx\,dy$$
$$=\rho g\int_L\{\zeta^{(1)}\}^2\left[\frac{\partial f_1}{\partial x}\right]_{y=z=0}dx+2\rho g\int_{L_0}\zeta_w{}^{(1)}\zeta^{(1)}\left[\frac{\partial f_1}{\partial x}\right]_{y=z=0}dx \quad \cdots\cdots(23)$$

The other is the integral of fluid pressure out of the control surface, such as

$$\Delta X_\beta=-2\int_L\int_0^{\zeta^{(1)}+\zeta_w{}^{(1)}}(p-p_0)\frac{\partial f_1}{\partial x}\,dx\,dz$$
$$=\rho g\int_L\{\zeta^{(1)}\}^2\left[\frac{\partial f_1}{\partial x}\right]_{y=z=0}dx+\rho g\int_L\{\zeta_w{}^{(1)}\}^2\left[\frac{\partial f_1}{\partial x}\right]_{y=z=0}dx$$
$$+2\rho g\int_L\zeta^{(1)}\zeta_w{}^{(1)}\left[\frac{\partial f_1}{\partial x}\right]_{y=z=0}dx \quad \cdots\cdots(24)$$

As a result the resistance variation in wave X is given as follows,

$$X=X_F+\Delta X_\alpha+\Delta X_\beta-X_0 \quad \cdots\cdots(25)$$

where X_0 means the wave-making resistance in still water.

Now we can express the resistance variation in the following form.

$$X=X^{(1)}+X_1{}^{(2)}+X_2{}^{(2)}+X_3{}^{(2)} \quad \cdots\cdots(26)$$

First, let us consider the first order approximation in the order of $\varepsilon\beta$.

$$\left.\begin{aligned}X^{(1)}&=\rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_0^{\infty}\left[\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial x}\frac{\partial\phi_w{}^{(1)}}{\partial x}-\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial z}\frac{\partial\phi_w{}^{(1)}}{\partial z}\right]_{x=-\infty}dz\,dy\\&+\rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\left[\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial x}\frac{\partial\phi_w{}^{(1)}}{\partial z}+\frac{\partial\phi_w{}^{(1)}}{\partial x}\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial z}\right]_{z=0}dx\,dy\\&=\rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_0^{\infty}\left[\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial x}\frac{\partial\phi_w{}^{(1)}}{\partial x}-\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial z}\frac{\partial\phi_w{}^{(1)}}{\partial z}\right]_{x=-\infty}dz\,dy\\&-\rho g\int_{-\infty}^{\infty}\zeta^{(1)}\zeta_w{}^{(1)}\,dy\end{aligned}\right\}\cdots\cdots(27)$$

After integrating with respect to y and z, we make use of the Fourier integral formula that is

$$f(x)=\lim_{\mu\to\infty}\frac{1}{\pi}\int_{-\infty}^{\infty}f(t)\frac{\sin\mu(x-t)}{x-t}\,dt \quad \cdots\cdots(28)$$

where the pole is $\alpha=\pi$.

Finally one can get the expression such as

$$X^{(1)}=-2\rho ga\iint_{S_0}\frac{\partial f_1}{\partial x}e^{-kz}\cos K(x+\xi)\,dz\,dx \quad \cdots\cdots(29)$$

These transformation tell us that the first order approximation is derived from the interaction between the incident wave and the transverse ship wave in still water ($\alpha=\pi$).

According to Appendix, the first order solution of the Froude-Krylov force agrees with (29). So the Froude-Krylov force in the "running-with-a-wave" condition can be explained as the interaction between the incident wave and the transverse ship wave in still water.

Then, let us consider the second order approximation in the order of $\varepsilon\beta^2$, which is the interaction between the ship wave in still water and the wave derived from the interaction velocity potential, that is

$$\begin{aligned}X_1^{(2)}=&\rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_{0}^{\infty}\left[\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial x}\frac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial x}-\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial y}\frac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial y}-\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial z}\frac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial z}\right]_{x=-\infty}dz\,dy\\&+\rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\left[\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial x}\frac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial z}+\frac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial x}\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial z}\right]_{z=0}dx\,dy\\=&\rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_{0}^{\infty}\left[\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial x}\frac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial x}-\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial y}\frac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial y}-\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial z}\frac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial z}\right]_{x=-\infty}dz\,dy\\&-\rho g\int_{-\infty}^{\infty}\left[\zeta^{(1)}\zeta_*^{(2)}\right]_{x=-\infty}dy-\rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\left[\gamma_*^{(2)}\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial x}\right]_{z=0}dx\,dy\end{aligned}\quad\cdots\cdots(30)$$

Making use of Parseval's formula that is

$$\int_{-\infty}^{\infty}\{F(y)\}^2\,dy=\pi\int_{0}^{\infty}(F_1^2+F_2^2)\,du \quad\cdots\cdots(31)$$

if

$$F(y)=\int_{0}^{\infty}(F_1\cos uy+F_2\sin uy)\,du \quad\cdots\cdots(32)$$

we obtain finally the formula as follows;

$$\begin{aligned}X_1^{(2)}=&\frac{2\rho K^2}{\pi}\int_{\frac{\pi}{2}}^{\pi}\underbrace{(P_{1A}P_{1B}+Q_{1A}Q_{1B})}_{X_{1A}^{(2)}}+\underbrace{P_{1A}P_{1C}+Q_{1A}Q_{1C}}_{X_{1B}^{(2)}}+\underbrace{P_{1A}P_{1D}+Q_{1A}Q_{1D}}_{X_{1C}^{(2)}}\\&+\underbrace{P_{1A}P_2+Q_{1A}Q_2}_{X_{1D}^{(2)}})\sec^3\alpha\,d\alpha-\underbrace{\rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\left[\gamma_*^{(2)}\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial x}\right]_{z=0}dx\,dy}_{X_{1E}^{(2)}}\end{aligned}\quad\cdots\cdots(33)$$

where

$$\left.\begin{matrix}P_{1A}\\Q_{1A}\end{matrix}\right\}=\iint_{S_0}\left(-2U\frac{\partial f_1}{\partial x}\right)e^{-Kz\sec^2\alpha}\left\{\begin{matrix}\cos\\\sin\end{matrix}\right.(Kx\sec\alpha)\,dx\,dz$$

$$\left.\begin{matrix}P_{1B}\\Q_{1B}\end{matrix}\right\}=-\int_L 2U\left(h_w^{(1)}-\theta_w^{(1)}x-\theta_w^{(1)}\tau^{(0)}\frac{\partial\tau^{(0)}}{\partial x}\right)\frac{\partial f_1(x,\tau^{(0)})}{\partial x}e^{-K\tau^{(0)}\sec^2\alpha}\begin{Bmatrix}\cos\\\sin\end{Bmatrix}(Kx\sec\alpha)\,dx$$

$$\left.\begin{matrix}P_{1C}\\Q_{1C}\end{matrix}\right\}=\iint_{S_0}2U\left\{\theta_w^{(1)}z\frac{\partial^2 f_1}{\partial x^2}-\theta_w^{(1)}\frac{\partial f_1}{\partial z}+(h_w^{(1)}-\theta_w^{(1)}x)\frac{\partial^2 f_1}{\partial x\partial z}\right\}e^{-Kz\sec^2\alpha}\begin{Bmatrix}\cos\\\sin\end{Bmatrix}(Kx\sec\alpha)\,dx\,dz$$

$$\left.\begin{matrix}P_{1D}\\Q_{1D}\end{matrix}\right\}=\iint_{S_0}2\left(\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x}\frac{\partial f_1}{\partial x}+\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial z}\frac{\partial f_1}{\partial z}\right)e^{-Kz\sec^2\alpha}\begin{Bmatrix}\cos\\\sin\end{Bmatrix}(Kx\sec\alpha)\,dx\,dz$$

$$\left.\begin{matrix}P_2\\Q_2\end{matrix}\right\}=\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{0}2\gamma_*^{(2)}\cos(Ky\sec^2\alpha\sin\alpha)\begin{Bmatrix}\cos\\\sin\end{Bmatrix}(Kx\sec\alpha)\,dx\,dy$$

$X_{1A}^{(2)}$ and $X_{1B}^{(2)}$ means the change of the wave-making resistance derived from the attitude variation which is caused by the incident wave. And $X_{1C}^{(2)}$ means the wave-making resistance derived from the diffraction of the incident wave. These forces are regarded as the wave-making resistance when the incident wave disturbs the singularity distribution of a ship.

The $X_{1D}^{(2)}$ and $X_{1E}^{(2)}$ are derived from the nonlinear free surface condition.

The interaction between the incident wave and the ship wave in still water is also appeared in the order of $\varepsilon\beta^2$, that is

$$\begin{aligned}X_2^{(2)}=&\rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_0^{\infty}\left[\frac{\partial\phi^{(2)}}{\partial x}\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x}-\frac{\partial\phi^{(2)}}{\partial z}\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial z}\right]_{x=-\infty}dz\,dy\\&+\rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\left[\frac{\partial\phi^{(2)}}{\partial x}\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial z}+\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x}\frac{\partial\phi^{(2)}}{\partial z}\right]_{z=0}dx\,dy\\&+4\rho g\int_L\left[\zeta_w^{(1)}\zeta^{(1)}-\frac{\partial f_1}{\partial x}\right]_{y=z=0}dx\\=&\rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_0^{\infty}\left[\frac{\partial\phi^{(2)}}{\partial x}\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x}-\frac{\partial\phi^{(2)}}{\partial z}\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial z}\right]_{x=-\infty}dz\,dy-\rho\frac{U^2}{g}\int_{-\infty}^{\infty}\left[\frac{\partial\phi^{(2)}}{\partial x}\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x}\right]_{x=-\infty}dy\\&-\rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\left[\gamma^{(2)}\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x}\right]_{z=0}dx\,dy+4\rho g\int_L\left[\zeta^{(1)}\zeta_w^{(1)}\frac{\partial f_1}{\partial x}\right]_{z=0}dx\qquad\cdots\cdots(34)\end{aligned}$$

Considering that the first term and second term are analogous to $X^{(1)}$, it is easily proved that

$$X_2^{(2)}=X_{2A}^{(2)}+X_{2B}^{(2)}+X_{2C}^{(2)}+X_{2D}^{(2)}+X_{2E}^{(2)}\qquad\cdots\cdots(35)$$

$$X_{2A}^{(2)}=-2\rho ga\int_L\left(h^{(1)}-\theta^{(1)}x-\theta^{(1)}\tau^{(0)}\frac{\partial\tau^{(0)}}{\partial x}\right)\frac{\partial f_1(x,\tau^{(0)})}{\partial x}e^{-K\tau^{(0)}}\cos K(x+\xi)\,dx$$

$$X_{2B}^{(2)}=2\rho ga\iint_{S_0}\left\{\theta^{(1)}z\frac{\partial^2 f_1}{\partial x^2}-\theta^{(1)}\frac{\partial f_1}{\partial z}+(h^{(1)}-\theta^{(1)}x)\frac{\partial^2 f_1}{\partial x\partial z}\right\}e^{-Kz}\cos K(x+\xi)\,dx\,dz$$

$$X_{2C}^{(2)}=\frac{2\rho ga}{U}\iint_{S_0}\left(\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial x}\frac{\partial f_1}{\partial x}+\frac{\partial\phi^{(1)}}{\partial z}\frac{\partial f_1}{\partial z}\right)e^{-Kz}\cos K(x+\xi)\,dx\,dz$$

$$X_{2D}^{(2)}=-4\rho ga\int_L\frac{U}{g}\frac{\partial\phi(x,0,0)}{\partial x}\frac{\partial f_1}{\partial x}\cos K(x+\xi)\,dx$$

$$X_{2E}^{(2)}=\frac{4\rho ga}{U}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{0}\left[\gamma^{(2)}\right]_{z=0}\cos K(x+\xi)\,dx\,dy$$

So $X_{2A}^{(2)}$ and $X_{2B}^{(2)}$ are regarded as the Froude-Krylov force derived from the attitude variation which is caused by the running in still water. In other words this Froude-Krylov force is equal to the interaction between the incident wave and the second order transverse ship wave in still water.

Then we can take the force in the order of $\varepsilon^2\beta$, which is the interaction between the incident wave and the wave derived from the interaction velocity potential.

$$
\begin{aligned}
X_3^{(2)} &= \rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_{0}^{\infty}\left[\frac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial x}\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x}-\frac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial z}\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial z}\right]_{x=-\infty}dz\,dy \\
&+\rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\left[\frac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial x}\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial z}+\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x}\frac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial z}\right]_{z=0}dx\,dy \\
&+\rho g\int_L\left[\{\zeta_w^{(1)}\}^2\frac{\partial f_1}{\partial x}\right]_{y=z=0}dx \\
&=\rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\left[\frac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial x}\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x}-\frac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial z}\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial z}\right]_{x=-\infty}dz\,dy \\
&-\rho\frac{U^2}{g}\int_{-\infty}^{\infty}\left[\frac{\partial\phi_*^{(2)}}{\partial x}\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x}\right]_{x=-\infty}dy-\rho\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{\infty}\left[\gamma_*^{(2)}\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x}\right]_{z=0}dx\,dy \\
&+\rho g\int_L\left[\{\zeta_w^{(1)}\}^2\frac{\partial f_1}{\partial x}\right]_{y=z=0}dx \qquad\cdots\cdots(36)
\end{aligned}
$$

Considering that this force is analogous to $X_2^{(2)}$, it is easily proved that

$$X_3^{(2)}=X_{3A}^{(2)}+X_{3B}^{(2)}+X_{3C}^{(2)}+X_{3D}^{(2)}+X_{3E}^{(2)} \qquad\cdots\cdots(37)$$

$$X_{3A}^{(2)}=-2\rho ga\int_L\left(h_w^{(1)}-\theta_w^{(1)}x-\theta_w^{(1)}\tau^{(0)}\frac{\partial\tau^{(0)}}{\partial x}\right)\frac{\partial f_1(x_1,\tau^{(0)})}{\partial x}e^{-K\tau^{(0)}}\cos K(x+\xi)\,dx$$

$$X_{3B}^{(2)}=2\rho ga\iint_{S_0}\left\{\theta_w^{(1)}z\frac{\partial^2 f_1}{\partial x^2}-\theta_w^{(1)}\frac{\partial f_1}{\partial z}+(h_w^{(1)}-\theta_w^{(1)}x)\frac{\partial^2 f_1}{\partial x\partial z}\right\}e^{-Kz}\cos K(x+\xi)\,dx\,dz$$

$$X_{3C}^{(2)}=\frac{2\rho ga}{U}\iint_{S_0}\left(\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial x}\frac{\partial f_1}{\partial x}+\frac{\partial\phi_w^{(1)}}{\partial z}\frac{\partial f_1}{\partial z}\right)e^{-Kz}\cos K(x+\xi)\,dx\,dz$$

$$X_{3D}^{(2)}=\rho ga^2\int_L\frac{\partial f(x,0)}{\partial x}\cos^2 K(x+\xi)\,dx$$

$$X_{3E}^{(2)}=\frac{4\rho ga}{U}\int_{-\infty}^{\infty}\int_{-\infty}^{0}\left[\gamma_*^{(2)}\right]_{z=0}\cos K(x+\xi)\,dx\,dy$$

$X_{3A}^{(2)}$ and $X_{3B}^{(2)}$ are regarded as the Froude-Krylov force derived from the attitude variation which is caused by the incident wave. $X_{3C}^{(2)}$ are a kind of the Froude-Krylov force, which is derived from the correction of the hull form representation. And $X_{3D}^{(2)}$ indicates the effect of integrating up to the water surface, which is also a kind of the Froude-Krylov force.

According to the Appendix, the results of integrating of the incident wave pressure correspond to $X_{3A}^{(2)}$, $X_{3B}^{(2)}$ and $X_{3D}^{(2)}$.

The present theory includes the previous Froude-Krylov theory as the first order approximation. That is to say, the previous method was verified by this rational method. And the present theory shows the existance of the higher order Froude-Krylov forces and other hydrodynamic forces.

2.4 Captive model experiment

I carried out the captive model experiments in the Towing Tank of Osaka University in order to compare them with the theory. The model ship chosen in this paper belongs to the small trawler, whose principal particulars are shown in Table 1 and whose lines are shown in Fig. 2.

Table 1 Principal Particulars

			SHIP	MODEL
Length B. P.	L_{pp}	(m)	14. 40	2. 25
Breadth	B	(m)	3. 05	0. 477
Draft Fore	df	(m)	0. 35	0. 055
Aft	da	(m)	1. 396	0. 2181
Displacement Volume	V	(m^3)	27. 56	0. 1051
C. G. from midship	lcb	(m)	1. 28	0. 201
C. G. above B. L.	KG	(m)		0. 2091
Metacentric Height	GM	(m)		0. 0632
Longi. Gyradius	K_{yy}	(m)		0. 649

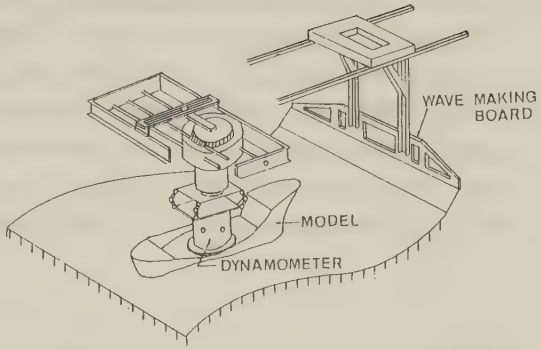


Fig. 3 General arrangement for captive model experiments

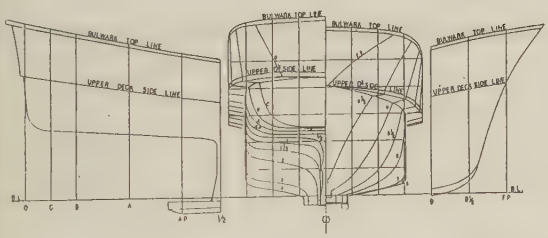


Fig. 2 Lines

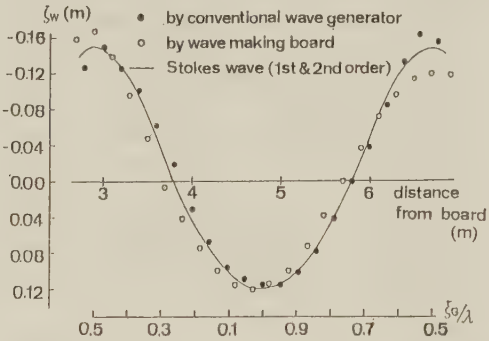


Fig. 4 Incident wave profile

The Grim's wave-making board[3,11] as shown in Fig. 3 enables us to realize a "running-with-a-wave" condition. The wave-making board whose lower edge was attached to the undisturbed water surface was towed by a carriage. So after it wave train progressed with the towing-carriage. If the model ship was fixed to this carriage, she could run with the wave train. And we could choose the desired relative position between the ship and the wave by changing the distance between the model ship and the wave-making board. In these experiments she was free with regard only to sinkage and trim, which were measured by potentio meters. And the longitudinal force was detected by a dynamometer.

The wave profile generated by the wave-making board is shown in Fig. 4. It differed from a sinusoidal wave because its steepness was very large (H/λ 1/14). But the calculated wave profile including the second order solution agreed well with the experimental one. So these captive model experiments can be compared with the present theory including the second order approximation. And the wave profile generated by a conventional wave generator was similar in the same wave condition. However, the wave generated by the wave-making board decaied slightly. I think that one of the reasons is the three dimensional effect, that is, the breadth of the board was a little smaller than the breadth of the tank.

According to the previous knowledge[2], the surf-riding often occurs in the condition

$\lambda/L=1.5\sim2.0$. So I decided the wave condition in these experiments such as $a/\lambda=1/28$, $\lambda/L=1.69$, considering the velocity and length of the carriage. The Froude number of the model was 0.55 to run with this wave.

2.5 Comparison between calculation and experiment

The numerical calculations of the theory in 2.3 were carried out as follows. The effects of the singularity distribution of water surface and the local disturbance of Green function are neglected to avoid the difficulty of numerical calculation*. I guess these

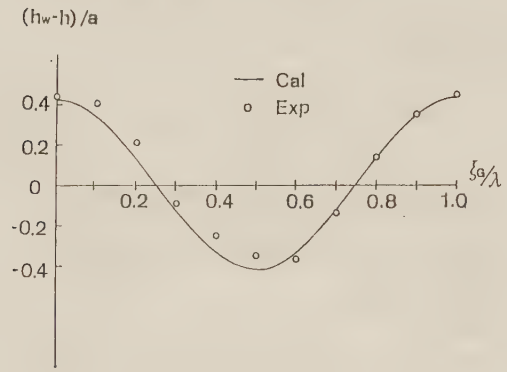


Fig. 5 Sinkage in following sea ($a/\lambda=1/28$, $\lambda/L=1.69$)

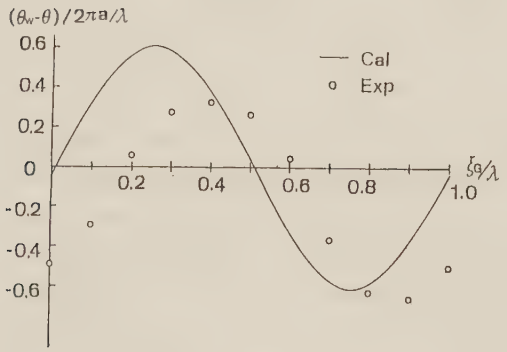


Fig. 6 Trim in following sea ($a/\lambda=1/28$, $\lambda/L=1.69$)

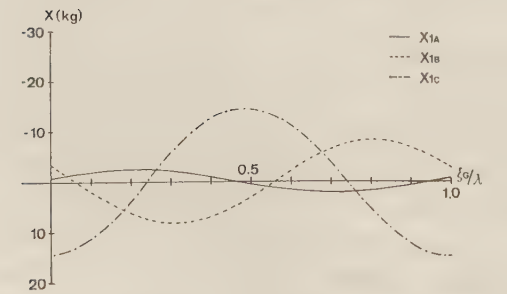


Fig. 7 Components of longitudinal force; X_1 (calculated value)

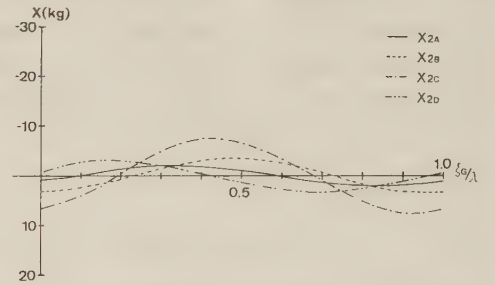


Fig. 8 Components of longitudinal force; X_2 (calculated value)

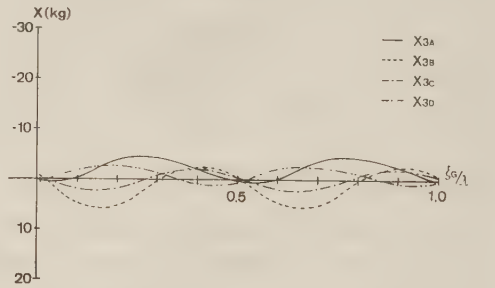


Fig. 9 Components of longitudinal force; X_3 (calculated value)

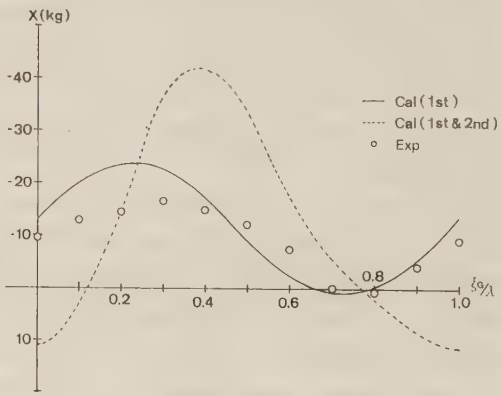


Fig. 10 Longitudinal force in following sea, captive model experiment and theoretical calculation ($a/\lambda=1/28$, $\lambda/L=1.69$, $F_n=0.55$)

* Therefore $X_{1D}^{(2)}$, $X_{1E}^{(2)}$, $X_{2E}^{(2)}$, $X_{3E}^{(2)}$ and parts of $X_{2C}^{(2)}$ and $X_{2D}^{(2)}$ didn't be calculated.

effects are not dominant factors of the phenomenon by the study about the resistance in still water. The resistance, sinkage and trim running in still water were not objects of this paper. So I substituted the experimental values for them in the numerical calculation, which are involved the viscous effect. And the numerical calculations were conducted by dividing the hull surface into 20 elements in the lengthwise direction and into 15 elements in the draft direction. But for calculations of $X_2C^{(2)}$ the hull surface was divided into 40 elements in the lengthwise direction and into 20 elements in the draft direction.

The author used the relative position of the ship to the wave ξ_G/λ to show the results. ξ_G is the horizontal distance to the center of gravity (C. G) of the ship measured from the wave trough behind the ship as shown in Fig. 1. And λ is the wave length. So $\xi_G/\lambda=0.0$ represents the wave trough in the C. G. of the ship. $\xi_G/\lambda=0.0\sim0.25\sim0.5$ means the front slope of the wave and $\xi_G/\lambda=0.5$ means the wave crest. And $\xi_G/\lambda=0.5\sim0.75\sim1.0$ represents the down slope of the wave.

The first order solution of the sinkage and trim is derived from the Froude-Krylov force. (c.f. Appendix) Fig. 5 shows the comparison between the calculated and experimental values of the sinkage, which is a satisfactory agreements. Fig. 6 shows the trim, in which the some difference exists with regard to the phase.

Then the calculated components of the longitudinal force X are given in Fig. 7～9. The wave-making resistance due to the incident wave varies drastically. Especially $X_1C^{(2)}$ does.

Fig. 10 shows the comparison between the calculated results and those obtained from the experiment. The solid line denotes the first order solution $X^{(1)}$. This coincides with the experimental result to a considerable extent.

According to this calculation and the experiment, the ship resistance becomes negative in the down slope ($\xi_G/\lambda=0.7\sim0.8$). So the likelihood of the surf-riding does exist. Therefore the first order calculation is effective for a practical purpose. But there is some difference in the front slope.

The dotted line denotes the calculated values including the second order solution $X^{(2)}$. There is considerable disagreement. The amplitude of the calculated variation becomes much larger than those obtained from the experiment. This may be caused by the error of the thin ship assumption to determine the source strength. That is, this theory overestimates the influence of the vertical fluid velocity. And further, the flare of the bow and stern, the wave breaking and the viscous effect may be related to this disagreement. As a result, the present second order theory cannot estimate the quantitative value.

3. The motion involving the surf-riding

In the previous chapter I studied the resistance variation in following sea both theoretically and experimentally. So this results enabled us to predict the motion involving surf-riding. In this chapter I carried out a digital simulation and the free running

model experiments of surf-riding in a towing tank.

3.1 Equation of motion

Grim[3] showed the equation of motion involving the surf-riding. After that several people[4,5,13] corrected his equation of motion. Then I examined these formulas and adopted a following form.

$$(m+m_x)\ddot{\xi}_G+\left(\frac{\partial R}{\partial V}-\frac{\partial T}{\partial V}\right)\dot{\xi}_G=X(\xi_G/\lambda)+T(1-t) \quad \cdots\cdots\cdots\cdots\cdots\cdots (38)$$

m: mass of ship
m_x: added mass in x direction in still water
$\partial R/\partial V$: derivative of resistance curve in still water
$\partial T/\partial V$: derivative of propeller thrust curve in still water (number of revolution is fixed.)
X: hydrodynamic force in x direction in the "running-with-a-wave" condition
$T(1-t)$: propeller thrust in the "running-with-a-wave" condition

The gravitational force on a ship and the static buoyancy are balanced in still water at zero ship speed. So these two values cancel each other. Therefore they were excluded in advance.

3.2 Free running model experiment

The experiments were performed in the $100\times7.8\times4.35$ m Towing Tank of Osaka University. A sketch layout of the apparatus for these experiments is given in Fig. 11. The model ship was constrained in yaw, sway and roll but allowed to heave, pitch and surge. And these captive apparatus could also move with a towing carriage. The model was water tighted and equipped a self-propulsion motor. A diatom earth type wave-making apparatus generated the incident wave. A wave probe attached to the towing carriage measured the wave elevation. This wave elevation, the velocity of the carriage and relative motion between the model and the carriage enabled us to determine the relative motion of the model to the wave.

The experimental procedure were as follows. First wave-making apparatus generated waves behind the model. When the wave system reached the middle of the tank, the towing carriage started. After that the velocity of the carriage became constant, the

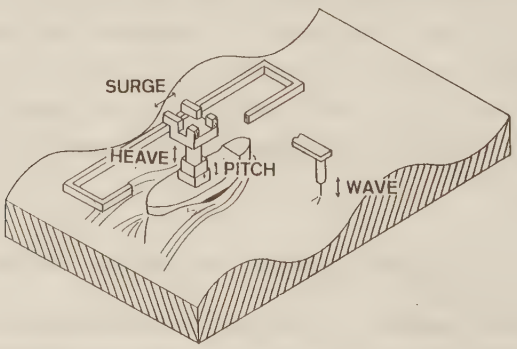


Fig. 11 General arrangement for surf-riding model experiments (Free running model)

model was released from the carriage in the desired relative position of model to the wave. Then the motions, that is, surge, heave and pitch were recorded. The model could move in the longitudinal distance of about 1.8 m. In the case that the model moved beyond this limits or the carriage reached an end of the tank, the experiment was brought to an end.

3.3 Comparison between simulation and experiment

The free running model experiments were carried out in propeller operating conditions and idling condition. And wave conditions such as wave height and wave length and initial conditions of velocity and position of model to wave were changed widely. The digital simulations were performed in the conditions corresponded with the free runnig model experiments. First the author shows some examples in order to verify the validity of the equation of motion.

Fig. 12~14 show the time histories of the surf-riding. The abscissa means the position of model to wave ξ_G/λ and the ordinate means time t [sec]. In these calculations the coefficients of the equation of motion were determined as follows.

- $-m_x$ was estimated by Motora's chart[14] in still water and the mass of a movable part of the captive apparatus is added.
- $-\partial R/\partial V$, $\partial T/\partial V$ were used by experimental values in still water.
- $-X, T(1-t)$ were used by experimental values in the "running-with-a-wave" condition.

These experiments were carried out both in propeller operating condition and idling condition, which was described in 2.4. The experimental results are showed in Fig. 15.

The experimental results of free running model show good agreement with the digitial simulation which is denoted by the solid line. In Fig. 12 the experimental result indicates the occurrence of a surf-riding. And the result of the calculation accounts for this phenomenon including the transient state. So the author concluded that the representation of the equation of motion is valid. But the mass of a movable part of the captive apparatus was not much smaller than the mass of ship. I did carry out the simulation without the mass of a movable part of the captive apparatus, which is denoted by the dotted lines. As a result the effect of the mass of a movable part of the captive apparatus were small. So I think that these experiments didn't differ from the actual surf-riding phenomena.

Fig. 14 shows the result in the propeller operating condition. In this condition the used power of self-propulsion motor resulted in a still water Froude number of 0.35. The experimental data agreed with the calculation in the cases of the propeller operating condition as well as the propeller idling condition.

The final position of surf-riding was $\xi_G/\lambda=0.9$ in the propeller operating condition and $\xi_G/\lambda=0.85$ in the propeller idling condition. And these positions corresponded with the point of stable equilibrium of the longitudinal force shown in Fig. 15. So I suppose the position of surf-riding depends on the propeller thrust. And according to Fig. 15, the propeller thrust itself isn't affected by wave.

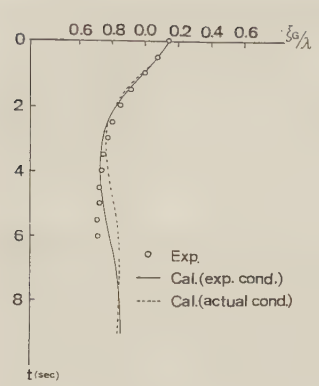


Fig. 12 Time history of surf-riding ($a/\lambda=1/28$, $\lambda/L=1.69$, propeller idling)

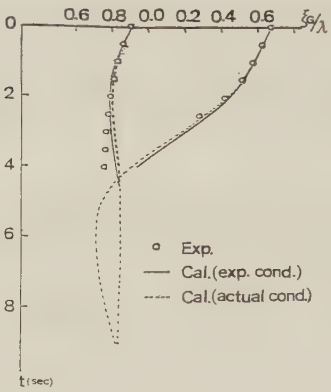


Fig. 13 Time history of surf-riding ($a/\lambda=1/28$, $\lambda/L=1.69$, propeller idling)

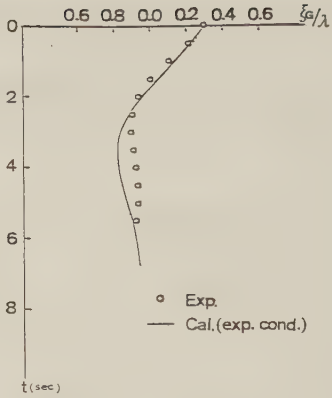


Fig. 14 Time history of surf-riding ($a/\lambda=1/28$, $\lambda/L=1.69$, propeller operating)

Second, the author tried to study the condition of the occurence of surf-riding by means of the free running experiments and the examined equation of motion.

Fig. 16 dealed with the wave condition such as wave height and wave length. The other conditions were fixed as follows. The power of self-propulsion motor resulted in still water Froude number of 0.35. The initial position was $\xi_G/\lambda=0.0$, that is, wave trough in the center of gravity of ship. And the initial velocity is the 80% of the wave celerity.

In the calculations the coefficients of the equation of motion were determined as follows.

— m_x was estimated by Motora's chart[14] in still water.

— $\partial R/\partial V$, $\partial T/\partial V$ were used by experimental values in still water.

— X was estimated as the sum of the first order theoretical value in wave and the resistance in still water experiment.

— $T(1-t)$ was used by experimental value in still water. ($F_n=0.35$)

The free running model experiments were carried out by the method described in 3.2.

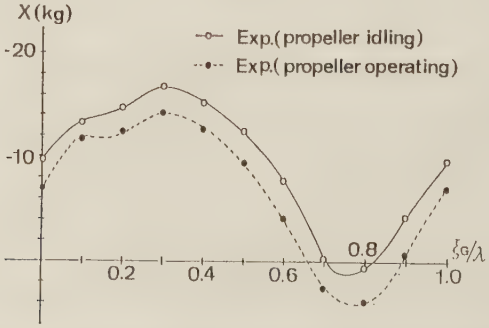


Fig. 15 Longitudinal force measured in following sea ($a/\lambda=1/28$, $\lambda/L=1.69$)

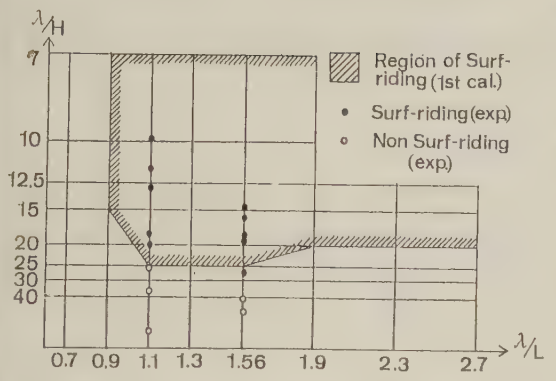


Fig 16. Diagram indicating the possibility of surf-riding (calculation and experiment)

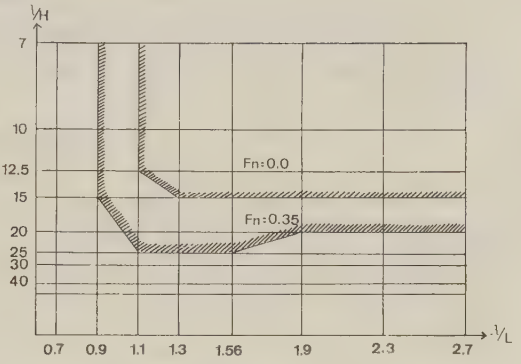


Fig. 17 Diagram indicating the possibility of surf-riding (influence of propeller thrust)

The difinition of surf-riding have not made clear yet. So I adopted the following form as the judging criterion of surf-riding on trial. That is, the ship velocity gets steady near the wave celerity and she doesn't travel for more than one wave length after the sufficient time passed. The "sufficient time" meaned about 3~10 sec in the experiment and 10 sec in the calculation for convenience.

The calculated value agreed well with the experimental value. So the prediction of surf-riding by this digital simulation proved useful. The predicted surf-riding zone is wide such as more than $\lambda/L=1.0$ and more than $H/\lambda=1/20$.

Then the influence of propeller thrust on the surf-riding was examined. Fig. 17 shows the predicted surf-riding zone in the propeller idling condition, which is compared with the zone in the propeller operating condition ($F_n=0.35$). The former is much narrower than the latter. Therefore to reduce the velocity of a ship is an effective method to prevent the surf-riding. If "the sufficient time" is exactly given by the studies of the broaching-to and the transverse stability variation, we can determine the quantitative standard to reduce the velocity of a ship.

4. Conclusion

The present hydrodynamic study about the resistance variation in following sea resulted as follows;

— The previous method based on the Froude-Krylov hypothesis is equivalent of the first order solution of the present method based on the boundary value problem. And it coincides with the results of the captive model experiment to some extent.

— The second order solution indicates the existance of the some hydrodynamic forces theoretically.

— The Froude-Krylov force in the "running-with-a-wave" condition is explained as the interaction in the far field between the incident wave and ship wave in still water.

Next, the dynamic study about the motion involving the surf-riding resulted as follows;

— The present equation of motion is valid representation judging from the comparison

with the free running model experiments.

— The simulation based on this equation of motion and the Froude-Krylov force can predict the occurence of the surf-riding.

Acknowledgement

The author wished to thank Prof. K. Nomoto and Prof. M. Hamamoto of Osaka University for their excellent guidance. And the deeply appreciation are due to Dr. M. Takagi of Hitachi shipbuilding & engineering Co. Ltd. and Dr. T. Fuwa of S.R.I. for their effective advice. The author is also indebted to Mr. H. Tatano and the staff of the Experimental Tank of Osaka University for their help, as well as Mr. Y. Yamakoshi of N.R.I.F.E. for his kind assistance. For the numerical calculation, ACOS 900 in Computer Center of Osaka University and ACOS 850 in Computing Center for Research in Agriculture, Forestry and Fisherries were used.

References

1) Du Cane, P. and Goodrich, G. J., "The following sea, broaching and surging", T.R.I.N.A., Vol. 104, No. 2 1962
2) Shipbuilding Research Association of Japan, Report No. 99R, 1981, p. 118～128 (in Japanese)
3) Grim, O., "Das Schiff in von achtern auflaufender See", Jahrbuch der Schiffbautechnischen Gesellshaft, Vol. 45, 1951
4) Boese, P., "Über die Erhöhung der Sicherheit eines im achterlichen Seegang fahrenden Schiffes im Hinblick auf die Steuerfähigkeit, Schiff und Hafen, 2, 1970
5) Boese, P., "Modellversuche zur Steuerfähigkeit eine Schiffes im achterlichen Seegang", Institut für Schiffbau der Universität Hamburg Bericht Nr. 259, 1970
6) Hamamoto, M., "Oinami o ukeru fune no fuanteikyodo ni kansuru kenkyu", Dr. Thesis, Osaka University, 1976 (in Japanese)
7) Shipbuilding Research Association of Japan, Report No. 99R, 1981, p. 85～117 (in Japanese)
8) Havelock, T.H., "The resistance of a Ship among Waves", P.R.S.A. Vol. 161, 1937
9) Maruo, H., "A Note on the Higher Order Theory of Thin Ships", Bulletin of the Faculty of Engineering Yokohama National Univ. Vol. 151, 1966
10) Takagi, M., "Some Notes on the Theory of Higher Order Wave-making Resistance", J. of the Kansai Soc. of Nav. Arch. Vol. 136, 1970 (in Japanese)
11) Hamamoto, M., Umeda, N., Shigehiro, R. and Nishimura, Y., "Transverse Stability of a ship in Following Sea", J. of the Kansai Soc. of Nav. Ach., Vol. 185, 1982 (in Japanese) and also available from Hamamoto, M. and Nomoto, K., "Transverse Stability of ships in a Following Sea", 2nd International conference on Stability of ships and ocean vehicles, Tokyo, 1982
12) Kashiwagi, M., "Oinamichu o shakosuru sentai ni hataraku ryutairyoku ni kansuru kenkyu", Master's Thesis of Osaka University, 1980 (in Japanese)

13) Motora, S., Fujino, M., Koyanagi, M., Ishida, S., Shimada, K. and Maki, T., "A Consideration on the mechanism of occurrence of the broaching-to Phenomenon", J. S. N. A., Vol. 150, 1981 (in Japanese) and also available from Motora, S., Fujino, M. and Fuwa, T., "On the Mechanism of Broaching-to Phenomena", 2nd International Conference on Stability of ships and ocean vehicles, Tokyo, 1982

14) Motora, S., "On the measurement of added mass and added moment of inertia for ship motions part 2", J. S. N. A., Vol. 106, 1960 (in Japanese)

15) Motora, S., "On measuring of Ships resistance in Waves by Gravity Dynamometer Method and Surging of Ship in Waves", J. S. N. A., Vol. 94, 1953 (in Japanese)

Appendix

By means of the Froude-Krylov hypothesis, one can calculate the wave induced force acting on a hull to integrate the fluid pressure of undisturbed incident wave. This section shows the analytical representation of the resistance variation including the second order approximation to compare it with the results in 2. 3.

The undisturbed wave profile and pressure is given as,

$$\zeta_w = a\cos K(x+\xi) - \frac{1}{2}Ka^2\cos 2K(x+\xi) \quad \cdots\cdots (39)$$

$$p = \rho gz - \rho gae^{-Kz}\cos K(x+\xi) - \frac{1}{2}\rho ga^2Ke^{-2Kz} \quad \cdots\cdots (40)$$

The longitudinal force X is expressed as,

$$X_{FK} = -2\iint p\cos(\hat{nx})\,dx\,dz = 2\int_L\int_{\zeta_w}^{\tau} p\frac{\partial f}{\partial x}\,dx\,dz \quad \cdots\cdots (41)$$

By substitution of (39) and (40) to (41) and consideration of the order of ε, we obtain

$$X_{FK}^{(1)} = -2\rho ga\iint_{S_0}\frac{\partial f_1}{\partial x}e^{-Kz}\cos K(x+\xi)\,dx\,dz \quad \cdots\cdots (42)$$

$$\begin{aligned} X_{FK}^{(2)} = {} & -2\rho ga\int_L\left(h_w^{(1)} - \theta_w^{(1)}x - \theta_w^{(1)}\tau^{(0)}\frac{\partial\tau^{(0)}}{\partial x}\right)\frac{\partial f_1(x,\tau^{(0)})}{\partial x}e^{-K\tau^{(0)}}\cos K(x+\xi)\,dx \\ & + 2\rho ga\iint_{S_0}\left\{\theta_w^{(1)}z\frac{\partial^2 f_1}{\partial x^2} - \theta_w^{(1)}\frac{\partial f_1}{\partial z} + (h_w^{(1)} - \theta_w^{(1)}x)\frac{\partial^2 f_1}{\partial x\partial z}\right\}e^{-Kz}\cos K(x+\xi)\,dx\,dz \\ & + \rho ga^2\int_L\frac{\partial f_1(x,0)}{\partial x}\cos^2 K(x+\xi)\,dx \end{aligned} \quad \cdots\cdots (43)$$

In these formulas $h_w^{(1)}$ and $\theta_w^{(1)}$ denote the sinkage and trim obtained from the first order approximation of the Froude-Krylov force. These are given as the solution of the following equilibrium of force and moment.

$$\left.\begin{aligned} Z_{FK}^{(1)} &= 0 \\ M_{FK}^{(1)} &= 0 \end{aligned}\right\} \quad \cdots\cdots (44)$$

in which

$$\begin{aligned} Z_{FK}^{(1)} &= -2\iint_{S_0} p\cos(\hat{nz})\,dx\,dz = 2\int_L\int_{\zeta_w}^{\tau} p\frac{\partial f}{\partial z}\,dx\,dz \\ &= -2\rho ga\iint_{S_0}\frac{\partial f_1}{\partial z}e^{-Kz}\cos K(x+\xi)\,dx\,dz \end{aligned}$$

$$+2\rho g\int_L \left(h_w{}^{(1)}-\theta_w{}^{(1)}x-\theta_w{}^{(1)}\tau^{(0)}\frac{\partial\tau^{(0)}}{\partial x}\right)\tau^{(0)}\frac{\partial f_1(x,\tau^{(0)})}{\partial z}\,dx$$

$$+2\rho g\iint_{S_0} z\left\{-\theta_w{}^{(1)}\frac{\partial f_1}{\partial x}-\theta_w{}^{(1)}z\frac{\partial^2 f_1}{\partial x\partial z}-(h_w{}^{(1)}-\theta_w{}^{(1)}x)\frac{\partial^2 f_1}{\partial z^2}\right\}dx\,dz \quad \cdots\cdots(45)$$

$$M_{FK}{}^{(1)}\fallingdotseq 2\iint_{S_0} px\cos(\hat{nz})\,dx\,dz=-2\int_L\int_{\zeta_w}^{\tau} px\frac{\partial f}{\partial z}\,dx\,dz$$

$$=2\rho ga\iint_{S_0} x\frac{\partial f_1}{\partial z}e^{-Kz}\cos K(x+\xi)\,dx\,dz$$

$$-2\rho g\int_L \left(h_w{}^{(1)}-\theta_w{}^{(1)}x-\theta_w{}^{(1)}\tau^{(0)}\frac{\partial\tau^{(0)}}{\partial x}\right)\tau^{(0)}x\frac{\partial f_1(x,\tau^{(0)})}{\partial z}\,dx$$

$$-2\rho g\iint_{S_0} xz\left\{-\theta_w{}^{(1)}\frac{\partial f_1}{\partial x}-\theta_w{}^{(1)}z\frac{\partial^2 f_1}{\partial x\partial z}-(h_w{}^{(1)}-\theta_w{}^{(1)}x)\frac{\partial^2 f_1}{\partial z^2}\right\}dx\,dz \cdots\cdots(46)$$

NOTE

A part of contents written in Japanese with similar title is published in the Journal of the Society of Naval Architects of Japan, Vol. 152 (1983). In that paper the analytical representation of resistance variation had some inconsistency. And the hull form was represented by the 3-parameters approximation. In this paper the author newly improved these points.

追波中の漁船の抵抗変動と波乗り現象

梅田直哉

和文要旨

小型漁船はその高速化に伴い，荒天下の追波状態におけるブローチングの危険性が問題となるに至っている。本論はこのブローチングの必要条件である波乗り現象のメカニズムについて，理論・実験の両面からその解明を試みたものである。

まず波乗りの主たる原因と考えられる波による抵抗変動について，thin ship theory によりその流体力成分を分析したうえ，拘束模型実験結果と比較した。

次に水槽内で波乗りに至る運動を再現し，運動力学的な考察を加えた。

これらの検討の結果，残された問題点も少なくはないが，Froude-Krylov Force を用いた Simulation 計算により，波乗り現象の発生する波浪条件の推定が可能であることを示した。

また波乗り状態における Froude-Krylov Force が，無限遠方での入射波と静水中で船の造る波との干渉であることを解析的に明らかにした。

水工研報告 5
1984 p. p. 207~215

沿岸漁船の騒音計測結果

久保 敏*・山田敏夫*

目 次

1. 緒 言…… 207
2. 調査対象船の概要…… 207
2.1 根拠地と漁種 …… 207
2.2 調査対象漁船の要目 …… 207
2.3 調査対象漁船の概略配置図 …… 207
3. 航走中の騒音…… 209
4. 機関室入口戸の開閉の影響…… 211
5. スピーカーテスト…… 211
6. 結 言…… 211
参考文献…… 214
Summary …… 215

1. 緒 言

伊豆七島周辺海域に出魚する小型沿岸漁船を対象とし，昭和57年度に行なった騒音調査結果については，昭和58年3月水産工学研究所技報（漁船工学）[1]に発表した。

今回さらに同様の趣旨のもとに昭和58年1月に行なわれた調査対象船数隻を加え，前回とは若干異なる視点から検討したものを報告する。

ここでは，これら漁船の航走中の騒音の計測結果と，周波数分析結果の検討を行なう他，機関室の入口戸の開閉が隣室の騒音に及ぼす影響を見た後，固体伝搬音と空気伝搬音とに分けることにより，この変化を説明した。

2. 調査対象船の概要

2.1 根拠地と漁種

調査対象漁船の根拠地と漁種を表1に示す。

2.2 調査対象漁船の要目

調査対象船の要目を表2に示す．航走中の機関回転数は，A～E丸は1,800 rpm，F丸は1,600 rpm，G丸は2,200 rpmであった。

2.3 調査対象漁船の概略配置図

調査対象漁船の概略配置図を図1に示す。いづれの船も外見上は類似しているが，細かい所で注意すべき点が

表1 根拠地と漁種
Garrison base and fishing method

根拠地	漁種	調査年月日
神奈川県三崎	底魚一本釣	S57年1月
東京都八丈島	曳縄釣	〃
神奈川県佐島	底はえ縄，かつお一本釣	S58年1月
東京都神津島	曳縄釣，底魚一本釣，突棒	〃

表2 調査対象各船の要目
Items of each boat

地区	船名	総トン数	L. B. D	農林馬力数	シリンダ数・直径	建造	船質
三崎	A 丸	6.73	11.26×3.10×0.86	60	6×100	S55	FRP
	B 〃	9.20	13.00×3.18×0.93	70	6×137	〃	〃
	C 〃	8.38	11.98×3.50×0.94	50	8×102	〃	〃
八丈島	D 〃	4.48	12.00×2.50×0.80	40			〃
	E 〃	6.05	10.85×2.74×0.90	55			〃
佐島	F 〃	8.72	12.55×2.90×0.96	60	6×100	S52	〃
	G 〃	4.96	9.95×2.90×0.86	45	6×113	S57	〃

* 漁船工学部

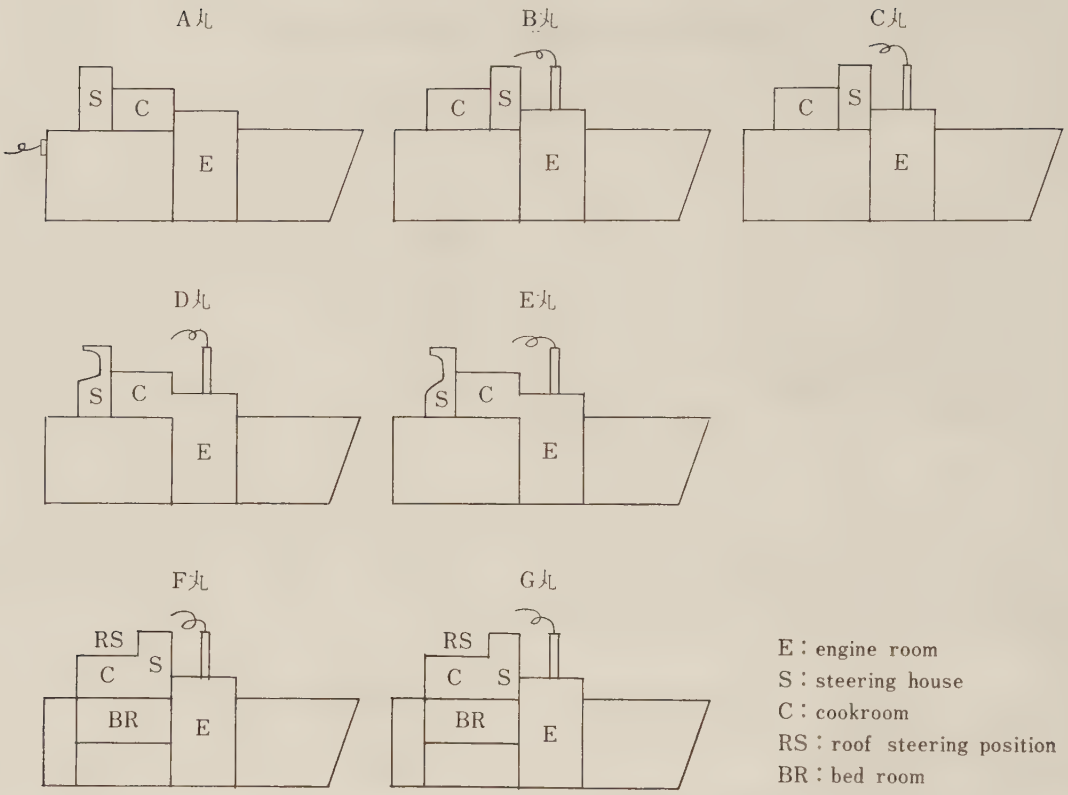


図 1 各船の船内側面図
Inboard profile of each boat

表 3 航走中の騒音 上段：dB (A)，下段：dB (F)
Noise under running upper : dB (A), lower : dB (F)

船名	機関室	操舵室	賄室	前甲板	後甲板	操舵室横通路	煙突上部横1m	寝室	上操舵場
A 丸	108 113	72 90	87 103	83 96	84 99	83 97			
B 〃	106 108	81 99	79 91	87 100	81 99	90 105	99 116		
C 〃	112 121	89 104	80 99	82 99	81 97	92 106	96 111		
D 〃	113 120	82 99	96 106	90 105	82 100	91 109	101 110		
E 〃	104 111	85 101	94 106	82 101	84 99	89 110	87 107		
F 〃	109 110	85 99	86 98	84 104				84 101	79 97
G 〃	115 121	95 111	92 109	97 109				95 110	94 107

ある。

八丈島地区の船は古く，機関室入口の戸がなく，機関音が大量に隣室に洩漏しているものと考えられる。又，操舵室というより操舵場といった方が適切で，後方が開放されたタイプであった。

佐島地区の船は，操舵室と隣室（賄室）との間の隔壁がなく，天井の高さの異なる二つの部屋が連なっていた。又，賄室屋上には椅子，操舵機類が別に設置され，普段はここで操船している。室内の操舵室は特に雨が強い日などの特別の場合使用するとのことだった。

機関室と隣室との間の出入口は，いづれの船も 60 cm 角程度である。ここには木あるいはプラスチック等の板に蝶番をつけたものや，その他には，出入口の周辺に溝が掘られ，これに板をはめる式の比較的簡単な戸が設けられている。

3. 航走中の騒音

航走中の音圧，及び騒音レベルを船内各場所で計測した結果を表 3 に示す。

計測中は，全箇所，騒音計に防風スクリーンを付けたが，航走中は風があり，特に外の甲板等では，若干計測値に影響を受けていると考えられる。

いづれの船も戸は全て閉じて計測したが，前述のように八丈島の船は，機関室入口の戸が失なわれているので，開放したまま計測した。

船内各場所における騒音の分布の様子を図 2 に示す。図中で X, Y としたのは，船により使用目的が異なるためで，船によっては X, Y 室間の隔壁がない場合もある。又 Y は部屋になっておらず，開放されたタイプの操舵場になっている船もある。（詳細は図 1）

点線で示した船は，八丈島地区のもので，機関室入口の戸がないため，特に X 室（賄室）で高い値を示している。

A 船は三崎地区のもので，Y 室（操舵室）で低い値を示した。この理由は明らかではないが，次の三点が寄与しているものと考えられる。

ア．機関室から離れている。

イ．排気が船尾より排出されている。

ウ．三崎地区の他の 2 隻は，該当する場所が賄室になっており，部屋が比較的広いのに対し，この船は操舵室として使用され，前後方向に比較的狭く，これが結果的に部屋の剛性を高め，船体との剛性比の差を生じたため。

上記の若干の例外を除けば，機関室内は 105～115 dB

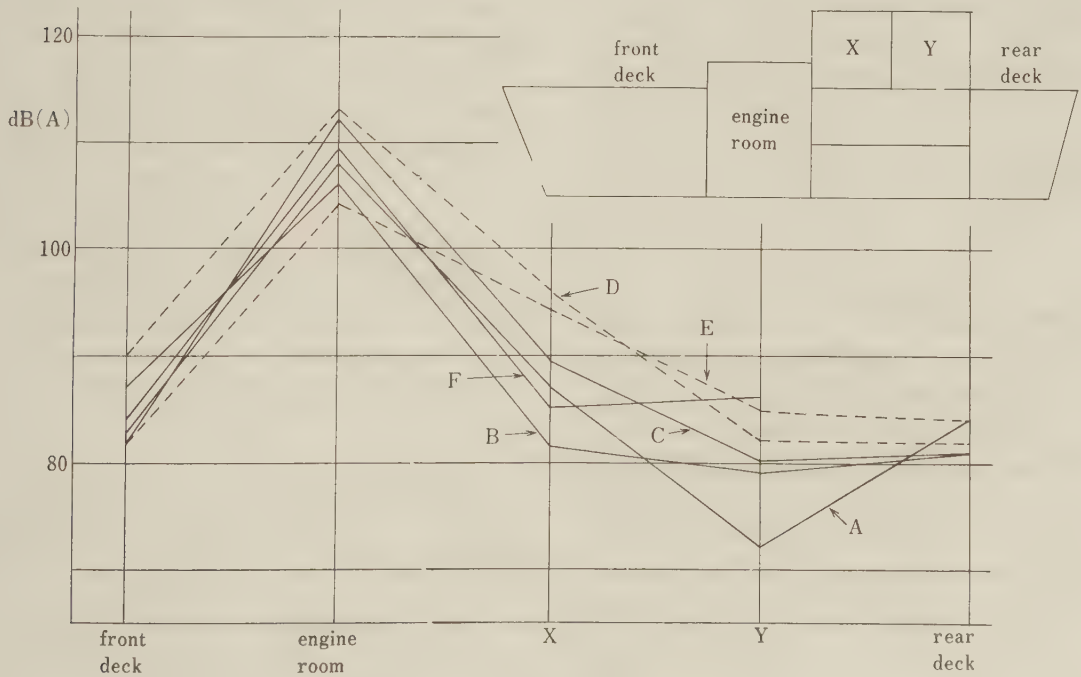


図 2　各船の船内騒音レベル

Inboard noise level of each boat

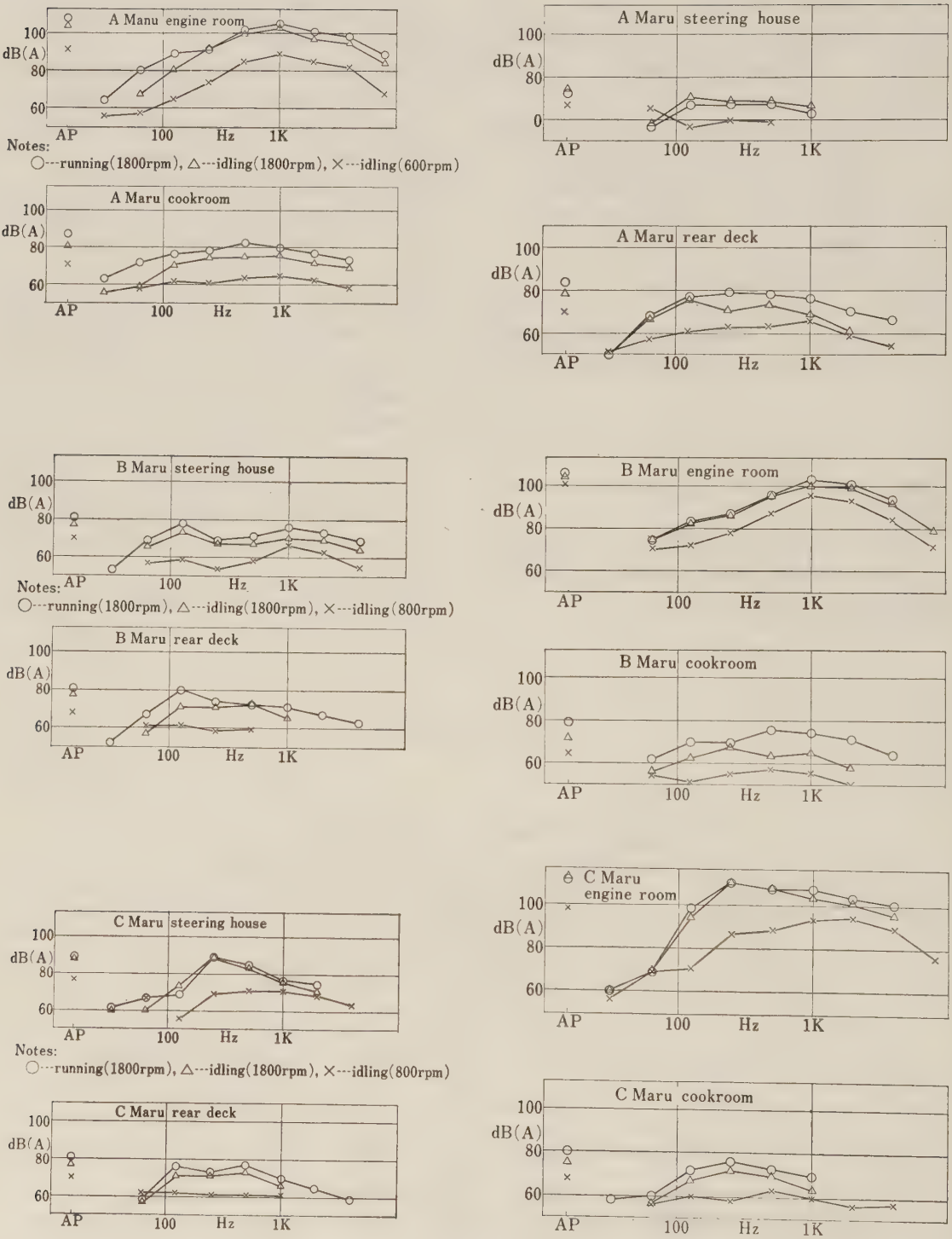


図 3 騒音の周波数分析 (1/1 oct.)

Frequency analysis of noise (1/1 oct.)

(A) の範囲に入り，その他の作業場所では 80～90 dB (A) の環境下にある。その差は 25 dB 程度である。

次に，機関室を含め 4 箇所の騒音を周波数分析したものを，A, B, C 丸の 3 隻につき図 3 に示した。ここでは航走中における値の他，航走中と同じ機関回転数を保ちクラッチを切っている状態，さらに低回転数におけるアイドリング時の計測結果を参考までに示した。

航走中における騒音は，機関室内外で若干異なり，機関室内は A, B 丸は 1 kHz あたり，C 丸は 250 Hz あたりに山を持つのに対し，機関室外では，いづれの船も 100～1 kHz の範囲内に，なだらかな山を持っている。

又，機関室内の騒音は，同回転数の時には，航走中とクラッチを切った状態（○と△）では，大きな差は生じていない。

4. 機関室入口戸の開閉の影響

機関運転時，機関室入口の戸の開閉による，隣室の騒音の変化を図 4 に示した。

明らかに高い周波数域程大きな変化を生じ，低周波数域では変化は小さい。

5. スピーカーテスト

機関室外の作業場所の騒音を，次の二つに分けた。

ア．壁からの透過・漏洩による音圧（空気伝搬音）

……P_T

イ．振動の伝搬により生ずる音圧（固体伝搬音）

……P_V

図 5 にモデル化して示した。スピーカーは機関室に 2 台設置し，機関運転音を録音したテープを再生し，約 100 W の出力を出した。

計測した値は，L_{S1}, L_{S2}, L_{e1}, L_{e2} の 4 つの音圧レベルである。$P_A^2=P_T^2+P_V^2$, $P_2/P_1=P_T/P$ が成立するので，容易に，$P_T=P\times P_2/P_1$, $P_V^2=P_A^2-P_T^2$ が導かれる。P_V^2/P_T^2 の対数をとったものを図 6 に示す。

航走中とアイドリング時の結果を○，△印に分け示

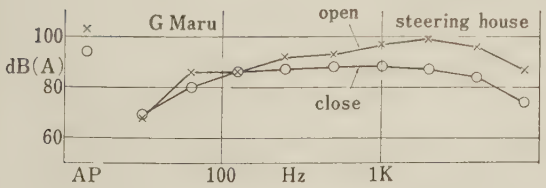


図 4　機関室入口戸の効果（航走中）

Effect of the door to the engine room (under running)

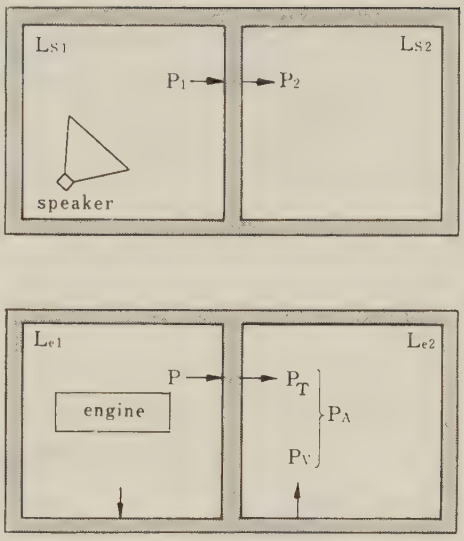


図 5　スピーカーテストの概念図

Model of speaker test

した。計算途中，高周波数域において P_V^2 が負になるものがあった。これは P_V 成分が十分小さいものとして図に示した。航走中は，停止時と異なり，風，波の音が加わるので，$P_A^2=P_T^2+P_V^2+\alpha^2$ とし，α を考慮すれば一層正確であるが，α が未知で分離出来なかった。又，暗騒音は 10 dB 以上あった。

図を見ると，船による差，航走中，アイドリング時の差，あるいは，計測場所による差が認められる。しかし概括的に見れば，固体伝搬音の成分（P_V）は 1 kHz 近辺まで優勢で，それ以上の周波数範囲では空気伝搬音の成分（P_T）が急激に強まっている。

6. 結　　言

昭和 57，58 年度に行なった FRP 製沿岸漁船の騒音計測の結果について，ここに報告した。

若干の例外的結果を除けば，航走中，機関室内は 105～115 dB(A)，その他の主な作業場所では 80～90 dB(A) であった。機関室内への出入りは頻繁でないので，機関室内騒音が直接人間に与える影響は小さいが，外部への透過・漏洩という点で問題になる。

80～90 dB(A) を示す一般の作業場所での騒音の周波数分析結果（1/1 oct.）は，100～1 kHz の範囲になだらかな山を持つ分布を示す。この内 1 kHz 付近より低い周波数範囲では，機関の発生する振動の伝搬による固体伝搬音の影響が強く，逆に 1 kHz 付近より高い周波数範囲では，機関室内騒音の透過・漏洩による空気伝搬音の

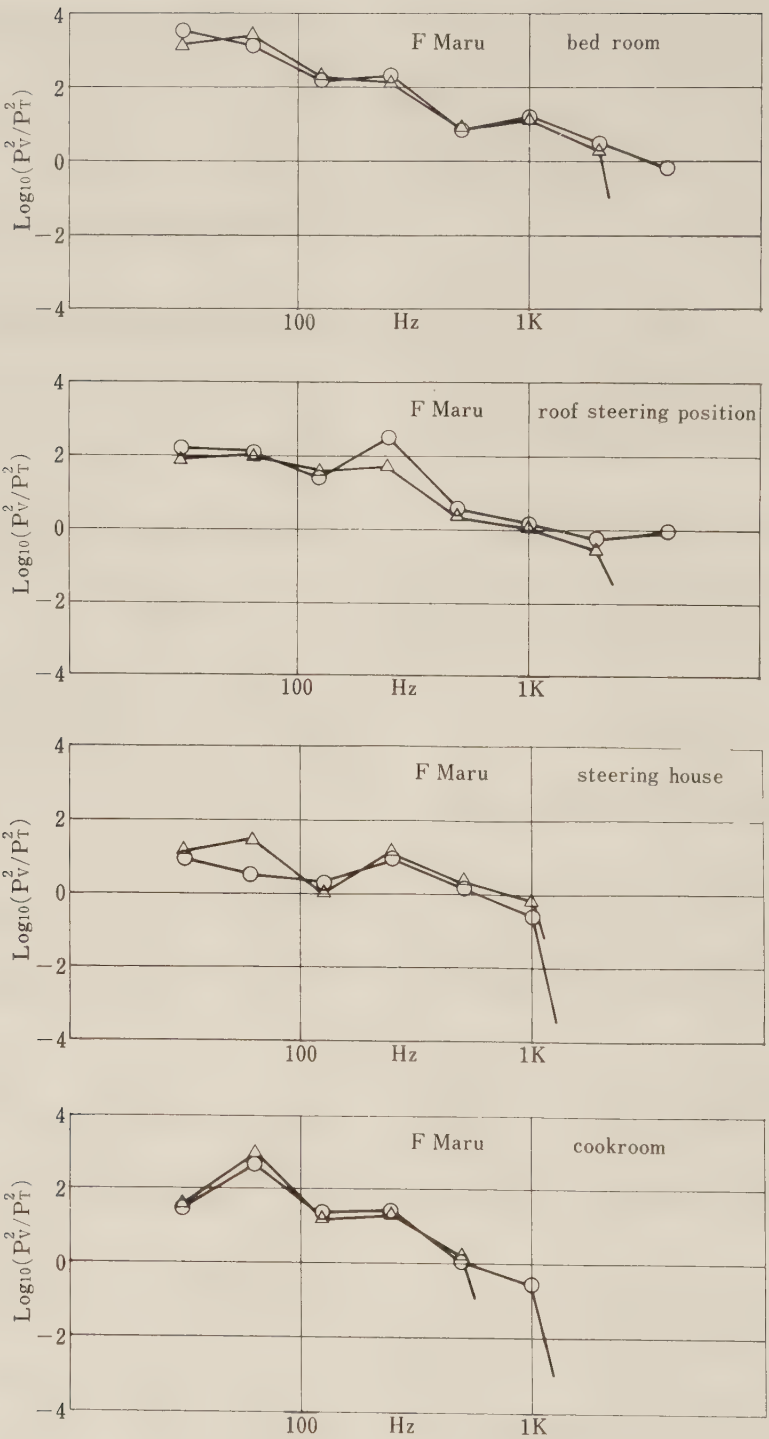


図 6 スピーカーテストの結果
○—航走，△—アイドリング (1,000 rpm)
Result of speaker test
○—running, △—idling (1,000 rpm)

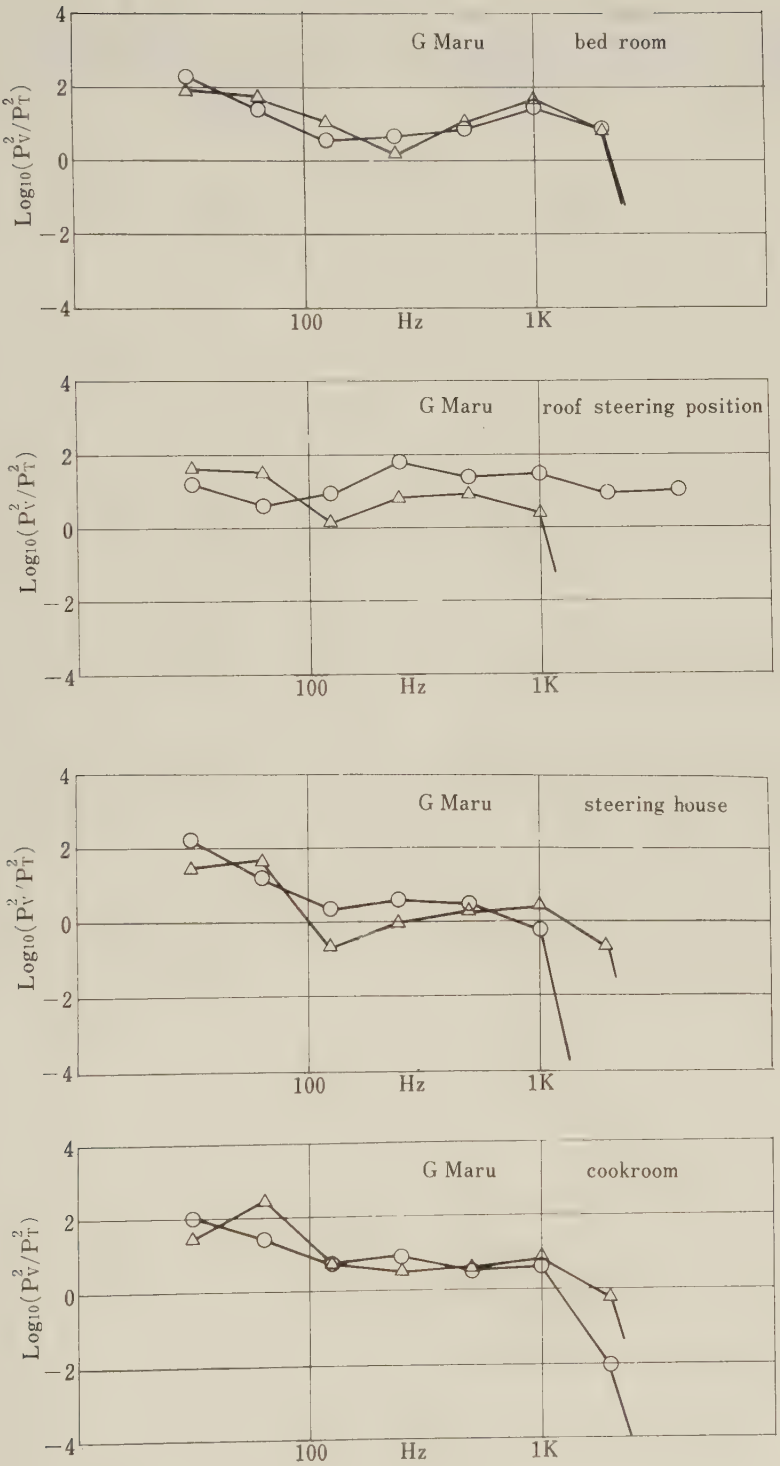


図 6　続　き
Succession

影響が急激に強まっていることが推察できた。

この結果，機関室入口の戸の開閉による，隣室の騒音の変化は，高周波数域において顕著で，低周波数域ではあまり変化していない。

参 考 文 献

1） 久保 敏・山田敏夫：沿岸漁船の騒音計測結果について，水産工学研究所技報（漁船工学），第4号，pp. 57～60，1983

Noise Level aboard the Coastal Fishing Boat

By

Satoshi KUBO and Toshio YAMADA

Summary

The authors measured the noise level aboard the coastal fishing boats. These boats are between 9.95 and 13.00 meters long and made of fiberglass reinforced plastic. (Table 1, 2, Fig. 1.)

The gist is as follows.

1. Noise level under running of these boats is except a few boats:
   Engine room: 105～115 dB(A)
   General workshop: 80～90 dB(A) (Table 3, Fig. 2.)
   (Deck, steering house etc.)
2. Noise level at the general workshop has a easy-sloping climax between 100 and 1 kHz. (Fig. 3.)
3. Except D and E Maru, each boat has a simple door (about 60 cm×60 cm) between engine room and the next room and it's opening and shutting has a great influence on the next room's noise level especially at high frequency part and little at low frequency part. (Fig. 4.)
4. It's reason is, as a result of speaker test, that the solid borne sound is superior to the air borne sound below about 1 kHz but in contrast with this, beyond that frequency, the air borne sound is superior. (Fig. 6.)

水工研報告 5
1984 p. p. 217~223

円型オッターボードの性能について

小山武夫*・大場 修**

目 次

1. 緒 言…… 215
2. 供試漁具…… 215
3. 測定方法…… 215
4. 実験結果…… 217
5. 漁撈操作上の検討…… 217
6. 結 言…… 217
参考文献…… 221
Summary …… 221

1. 緒 言

ソ連のトロール船は最近，オッターボードの形状を楕円型から円型に変えているようで，日本近海で操業しているソ連船も，円型オッターボードを盛んに使用しているようである[1]。しかし，これら円型オッターボードについては研究資料がほとんどなく，その性能には不明の点が多い。よって，ここでは即報[2] 縦型湾曲単板オッターボードと同様，円型オッターボードについて，その性能調査試験を実施した。

実験は昭和56年12月，東京湾，中の瀬付近（水深20 m，底質砂泥）で試験船たか丸（船尾トロール型式50トン，230馬力）により行われた。以下実験結果の概要を報告する。

2. 供試漁具

実験に使用したオッターボードはソ連製円型オッターボード[1]に類似した直径 1.13 m の円型（皿型）で，空中重量 79 kg，水中重量 68.7 kg，その設計図を図1に，写真を図2~3に示す。

また，トロール網はヘッドロープ長さ 12.88 m，グランドロープ長さ 15.6 m，網全長 18.065 m，浮子総浮力 37.5 kg，グランドロープ水中重量 50 kg で，その構成図面，ペンネント類，手綱等，副漁具の主要寸法を図4に示す。

3. 測定方法

オーターボードの抵抗についてはトロールウインチ附近におけるワープ張力（T_1）からオッターペンネント先端の張力（T_2，水中張力計による）および，ワープ抵抗（計算値）を差し引き，その抵抗とした。

オッターボードの展開力については，オッターボードの展開距離（D_1）を，つぎの方法で算出し，それより展開力を求めた。すなわち，左右ワープに一定の距離 $L=0.5$ m をとり，L の先端におけるワープ展開距離 L_1(m) と後端における展開距離 L_2(m) を測定し，その差からオッターボードの展開距離 D_1(m) を，

$$D_1=\frac{L_2-L_1}{L}\times L_3+F \quad \cdots\cdots(1)$$

として求めた。L_3(m) はワープの長さ，F(m) は左右トップローラーの間隔（本船の場合，F は 2.15 m）。

トロール曳網中におけるワープ，手綱等の形状を直線とみなし，左右手綱の延長線がゴッドヘッド後端附近で変わるものとすると曳網中の漁具形状は図5のごとく得られる[3]。

すなわち，図5よりワープの展開角度を θ_1，手綱が進行方向となす角度を β とすると，θ_1 および β はそれぞれ

$$\theta_1=\sin^{-1}\frac{\frac{1}{2}D_1}{L_W} \quad \cdots\cdots(2)$$

$$\beta=\sin^{-1}\frac{\frac{1}{2}D_1}{L_h+L_n} \quad \cdots\cdots(3)$$

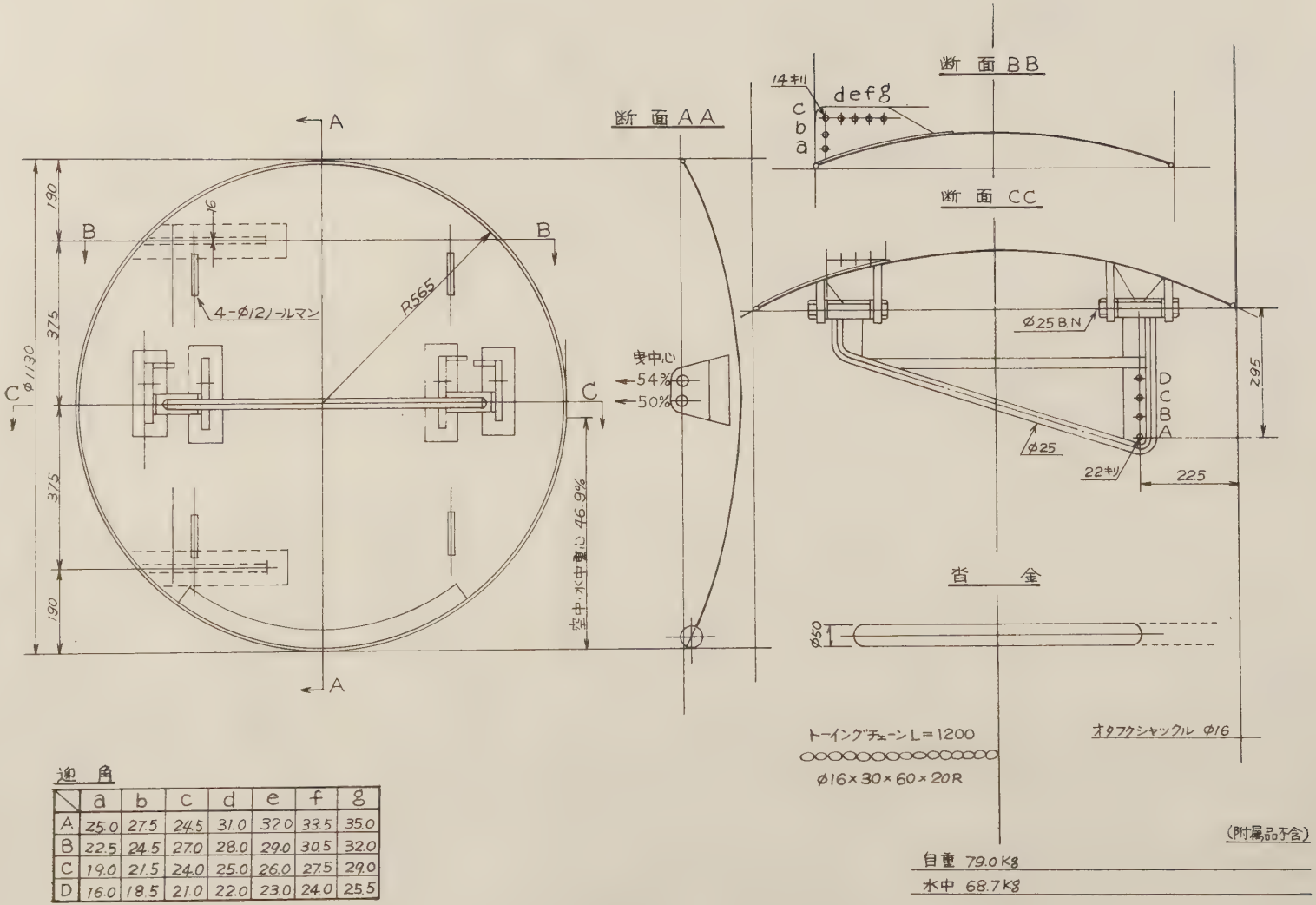
として求め得る。

一方，ワープ（L_W）にかかる張力（T_1）については船上で，手綱（L_h）にかかる張力（T_2）についてはオッターペンネントの後端で，それぞれ測定しているため，オッターボードの展開力 L は図5より

$$L=T_1\sin\theta_1+T_2\sin\beta \quad \cdots\cdots(4)$$

として求め得る。

* 漁業生産工学部
** 泰東製綱株式会社



迎角

	a	b	c	d	e	f	g
A	25.0	27.5	24.5	31.0	32.0	33.5	35.0
B	22.5	24.5	27.0	28.0	29.0	30.5	32.0
C	19.0	21.5	24.0	25.0	26.0	27.5	29.0
D	16.0	18.5	21.0	22.0	23.0	24.0	25.5

図1 供試オッターボード

Plan of the saucer shaped board in experiments

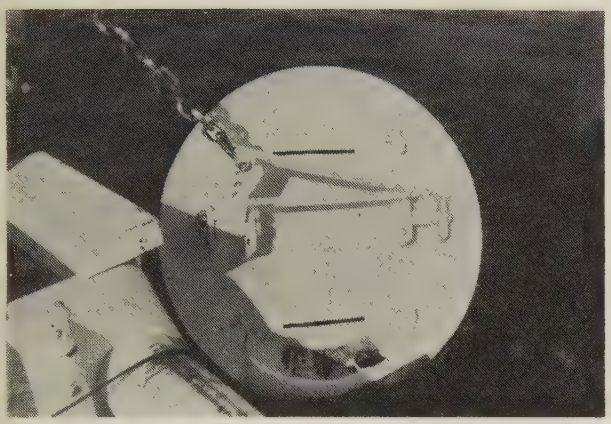


図 2　供試円型オッターボード
The saucer shaped board in experiment

図 3　供試円型オッターボード
The saucer shaped board in experiment

4. 実験結果

抵抗についての実験結果を表1に，また，展開力についての実験結果を表2に示す。

表1より曳網速度 v(m/sec) とオッターボードの抵抗 D(kg−f) の関係を対数グラフ上にプロットすると，図6のごとくなり，D はほぼ v の2乗に比例していることがわかる。そして，オッターボードの海底摩擦も含めた抵抗 D(kg−f) を

$$D=\frac{1}{2}C_D\rho Sv^2 \quad \cdots\cdots(5)$$

であらわし，C_D を求めると C_D は近似的に約 0.73 と得られる。

また，表2より曳網速度 v(m/sec) とオッターボードの展開力 L(kg-f) の関係を対数グラフ上にプロットすると，図7のごとくなり，これもほぼ，v の2乗に比例していることがわかる。そして，オッターボードの海底摩擦も含めた展開力 L (kg-f) を

$$L=\frac{1}{2}C_L\rho Sv^2 \quad \cdots\cdots(6)$$

であらわし，C_L を求めると C_L は近似的に約 1.2 と得られる。

5. 漁撈操作上の検討

オッターボードとしての性能は，それがいかに優れていても漁撈操作上，取扱つかいが不便であったり，あるいは，ちょっとした悪条件によって転倒したりしたのではそのオッターボードは実用上優れているとはいいえない。よって，ここではこれらの問題を検討するため，あて舵状態における回頭試験を行い，その特性を検討した。その結果，

① 従来から使用されている縦型湾曲単板オッターボード[2] はあて舵角度30度位の回頭で転倒するのに対して供試円型オッターボードはあて舵40～50度の回頭に対しても ほとんど転倒しないことを知見した（底質砂泥）。このことは，海底が荒い荒場漁場や狭い漁場においては非常に優れた特性といえる。また，転倒した場合でも舵を正常な状態にもどすと，すばやく，元の状態に復元し，復元性も極めてよいことを確認した。あて舵40～50度で回頭中の写真を図8に示す。

② 投網に際して供試円型オッターボードは，ほとんど垂直に近い状態で海中に沈降するため漁撈操作が極めて容易であること，また，船尾での収納状態も従来の縦型タイプより優れていること等を知見した。（図3）

6. 結　　言

図1～3に示す円型オッターボードについて，その性能および漁撈操作上の問題点について実験検討した。

その結果，性能的には抵抗係数 C_D は約 0.73，展開力係数 C_L は約 1.2 と得られ，性能的には従来から使用されている縦型湾曲オッターボードとほとんど相異しないことを知見した。また，供試円型オッターボードはあて舵40～50度位の回頭に対して転倒しないこと，（底質砂泥）および漁撈操作条件，船尾収納状態等が従来のものより優れていること等を知見した。

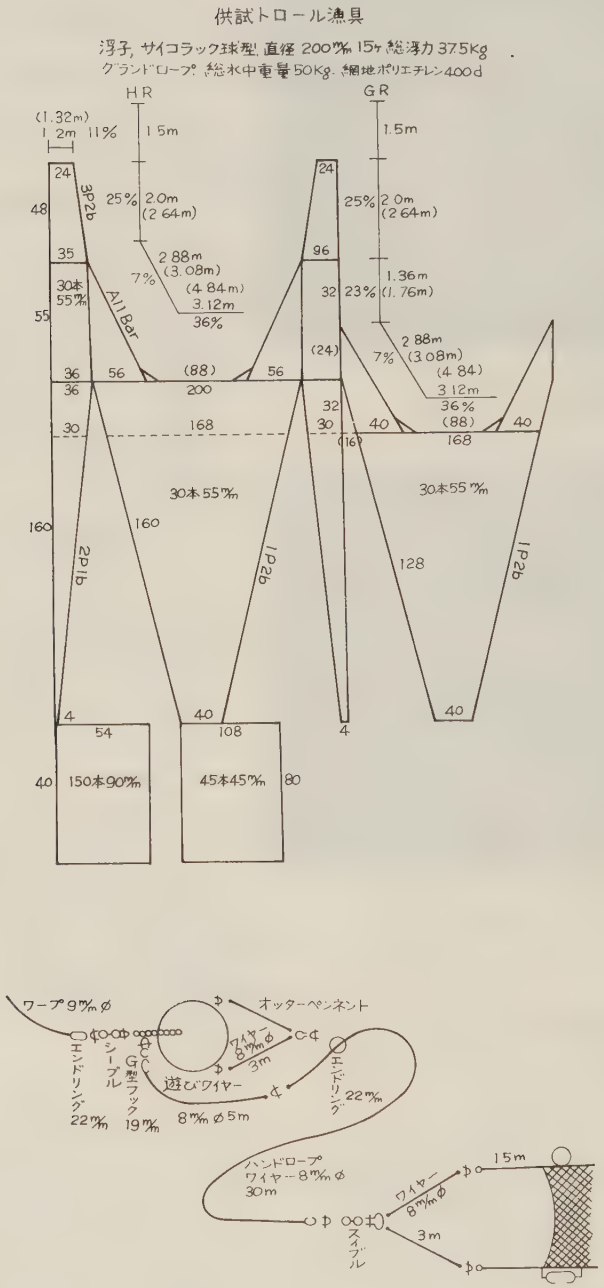


図 4 供試トロール網および副漁具図面
Plan of trawl gear in experiments

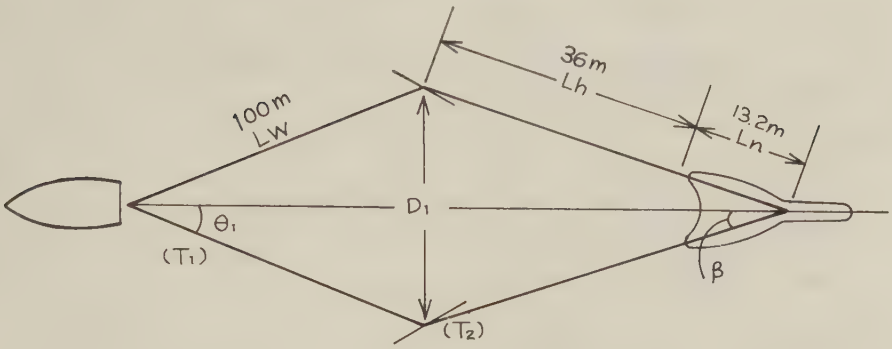


図 5　トロール曳網中における漁具形状
Angle β subtented by the hand rope and center line of the net

表 1　円型オッターボードの抵抗（実験漁場　水深 20 m，ワープ直径 10 mm，長さ 100 m）
Drag force of the saucer shaped board

主機関回転数 (r.p.m)	C.P.P 翼角 (度)	曳網速度 (v) (Knot)	(m/sec)	ワープ張力 左舷 (kg)	平均 (kg)	右舷 (kg)	平均 (T_1) (kg)	ワープの抵抗(R)計算値 (kg)	右舷手綱張力 (T_2) (kg)	オッターボードの抵抗 (D) T_1-T_2-R (kg)	抵抗係数 C_D
2,000	6	2.6	1.33	300～400	350	250～300	275	4.6	200	70	0.75
	8	3.0	1.54	450～600	525	380～580	480	6.2	385	89	0.71
	9	3.3	1.69	550～650	600	500～620	560	7.4	445	108	0.73
										平均	0.73

備考　$C_D=\dfrac{2D}{\rho v^2 S}$ として求めた
$S=1.0\ \mathrm{m}^2$ (r=0.565 m)
$\rho=105\ \mathrm{kg\cdot sec^2/m^4}$
$v=$m/sec
$D=$抵抗 (kg-f)

表 2　円型オッターボードの展開力（実験漁場　水深 20 m，ワープ直径 10 mm，長さ 100 m）
Sheer force of the saucer shaped board

曳網速度 v (Knot)	(m/sec)	ワープ 0.5 m 間の展開距離差 (cm)	トップローラー間隔 (m)	オッターボード展開距離 D_1 (m)	$\sin\theta$	$\sin\beta$	T_1 (kg)	T_2 (kg)	$T_1\sin\theta_1$ (kg)	$T_2\sin\beta$ (kg)	オッターボード展開力 L (kg)	展開力係数 (C_L)
2.6	1.33	14.0	2.15	30.15	0.15	0.306	275	200	41.25	61.2	102	1.10
3.0	1.54	12.0	2.15	26.15	0.13	0.266	480	385	62.40	102.4	165	1.33
3.3	1.69	10.8	2.15	23.75	0.12	0.241	560	445	67.20	107.2	174	1.16
											平均	1.2

備考　$C_L=\dfrac{2L}{\rho v^2 S}$ として求めた
$S=1.0\ \mathrm{m}^2$ (r=0.565 m)
$\rho=105\ \mathrm{kg\cdot sec^2/m^4}$
$v=$m/sec
$L=$展開力 (kg-f)

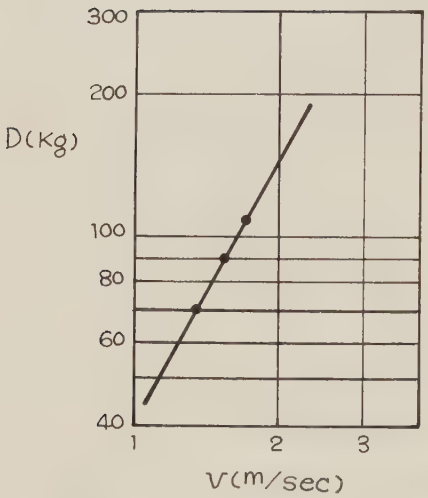


図 6 曳網速度 v (m/sec) と円型オッターボードの抵抗 D (kg-f) との関係

Relation between lowing speed v (m/sec) and drag force of the board D (kg-f)

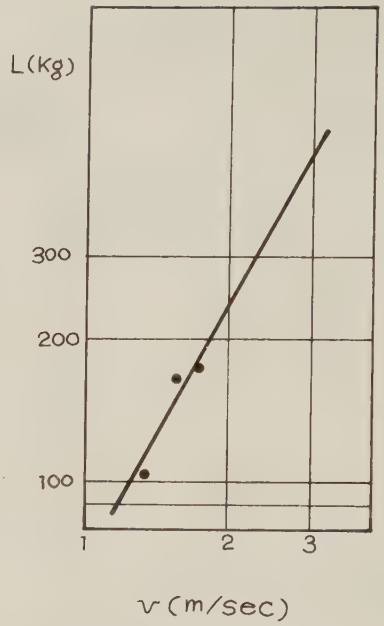


図 7 曳網速度 v (m/sec) と円型オッターボードの展開力 (kg-f) との関係

Relation between towing speed v(m/sec) and drag force of the board D (kg-f)

図 8 円型オッターボードあて舵 40～50 度回頭中

Meeting rudder at the degree of 40～50°

参 考 文 献

1) 小山武夫; 日本近海で操業するソ連大型トロール船, 東海区水産研究所業績C集, さかな 24 号, 昭和 55 年 3 月

2) 小山武夫・工藤孝雄・大場 修; オッターボードの抵抗および展開力について, 水産工学研究所報告第 2 号, 昭和 56 年 3 月

3) 高山重嶺・小山武夫; トロールに関する研究-V, トロール網の袖網間隔を測定する装置及びその計算式について, 東海区水産研究所報告第 31 号, 1961

Characterristics of a Saucer Shaped Board

By

Takeo KOYAMA and Osamu ŌBA

Summary

Experiment to investigate the performance of saucer shaped board was conducted with 50 G/T stern trawler "TAKAMARU" at Tokyo Bay where water depth is around 20～30 meters, and have come up with the following result.

1) Sheer coefficient (C_L) and Drag coefficient (C_D) for Saucer shaped board were obtained approximately 1.2 and approximately 0.73 respectively, thus it was proved that there's almost no change in performance and capability for this board as compared with cambered trawl board of conventional type.

2) It was confirmed that this board was never fell down against meeting rudder at the degree of 50°. Consequently, this board will be very suitable for fishing ground where is nallow and rough bottoms.

3) It was also confirmed that this board was well fittabble to the gallows and was proved to be extremly easy for handling in operation.

水工研報告 5
1984 p. p. 225~231

スキャンニングソナーによる定置網漁場の魚群行動調査 II

——岩漁場における魚群行動——

田原陽三*・井上喜洋*

目　次

1. 緒　言…… 223
2. 調査の方法…… 223
3. 調査の結果…… 224
4. 結　言…… 228
参考文献…… 228
Summary …… 229

1. 緒　言

相模湾の幾つかの定置網漁場で魚群行動調査をスキャンニングソナーを用いて行っているが，魚群の行動は複雑であるため未だ一端をのぞいたに過ぎない。定置網漁場における魚群の行動を左右する要因は数多くあるが，定置網の前面に他の定置網が接近して設置されている場合に後面漁場に差し込む魚群が前面の網の影響をどの程度受けるかが問題となることがしばしばある。

今回調査した相模湾の岩漁場は沖の網の垣網前面に可成り接近して磯の小網が張り建てられている。本報では沖の網の前面における魚群の動きと磯の小網との関連について若干の知見を得たので報告する。

尚本調査は漁業生産工学部，神奈川県水産試験場相模湾支所および神奈川県定置漁業研究会が協同して，岩漁場の協力を得て行った。

2. 調査の方法

前報と同様に調査船「たか丸」(約50トン，水工研所属）にスキャンニングソナー（KSS-180，海上電機製）を装備して，主として沖の網の垣網前面の魚群行動を昼夜連続して調査した。

調査した漁場は図1に示すように相模湾の岩漁場で，沖の網の垣網前面の魚群行動が磯に張建てられた小網の影響を受けるか否かを知るために図2に示すように調査船「たか丸」を固定した。

指示器のブラウン管上に現われる映像の処理については前報と同様に VTR で録画し，改めて研究室で再生して約5秒間隔でスチールカメラで撮影し，これらの写真から魚群の行動の概要が把握出来るように魚群の移動状態をおおざっぱにプロットし模式図を作成した。また今回の調査では魚群の移動状態が分るような映像が少く，

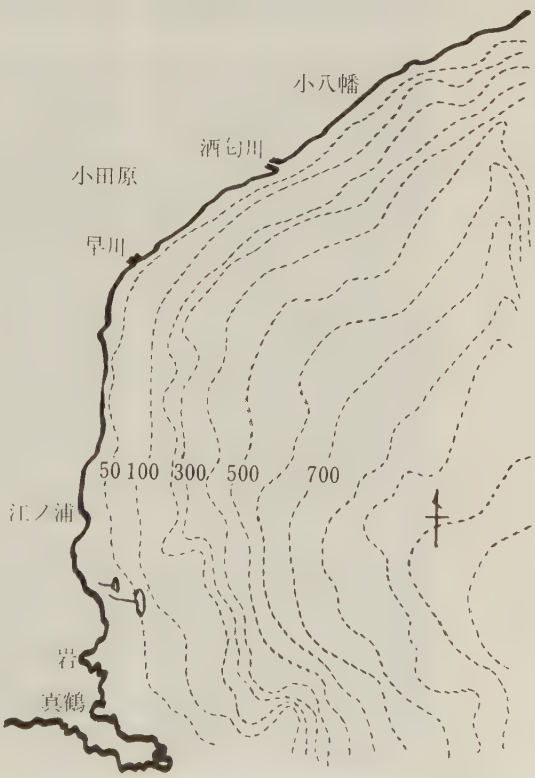


図 1　調査した定置網漁場
Fig. 1　Fishing ground

* 漁業生産工学部

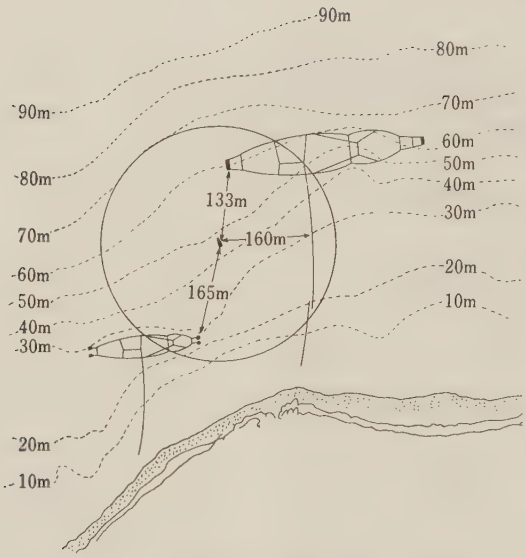


図 2　調査船の設置位置
Fig. 2　Anchoring position of research vessele

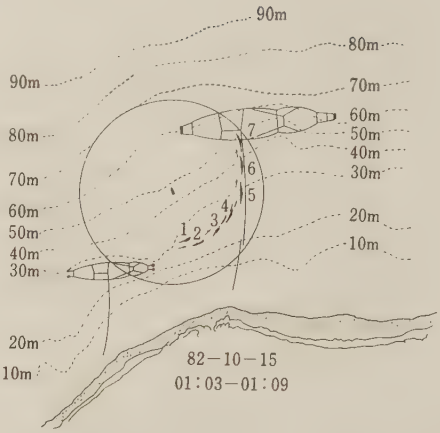
多くの場合は映像が現われても直ぐ消えて追跡出来ないため，魚像が出現した頻度分布図を求め魚群の動きを推測した。

3.　調査の結果

調査は昭和57年10月5日から10月17日の間に行われたが，この間魚群の来游が少く，数多くの魚群の映像が得られなかった。従って満足出来るような結果は得られなかったが，沖網の垣網前面の魚群の動きに磯の小網の影響が伺われるような映像も認められた。

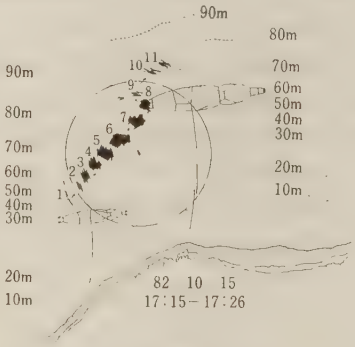
前報で垣網前面の魚群の行動を5つのパターンに分けて夫々の特徴を述べたが，今回の調査では若干異る動きが認められた。

パターンI. 50 m 等深線よりも浅くまで差し込んで網へ向う魚群：江ノ浦漁場では 50 m 線より浅くまで差し込んで網へ向う魚群は入網率が極めて高い結果が得られたが，岩漁場では図3-1～図3-3に示すように入網率が必ずしも高いとは云えないようである。同3-1は魚群は磯の小網の沖側をほぼ平行して差し込み垣網に添い羽口に向い入網している。游泳速度は比較的速くおおよそ 0.84 m/s（約1.7ノット）である。図3-2は40 m～50 m線沿いに魚群は差し込んだが磯の小網の運動場沖附近から沖の網の運動場の台に向いそのまま沖へ逸れて入網しない。写真1にこの間の代表的な映像を示す。游泳速度はおおよそ 0.76 m/s（約1.5ノット）である。図3-3は



番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	01：03：09				30～40m線沿いに小網の沖側にほゞ平行して沖の垣網に非常に接近して羽口に向い入網する。（サバ？）
2	03：59	50	31.5	0.63	
3	04：50	51	47.0	0.92	
4	05：35	45	42.5	0.94	
5	06：35	60	52.0	0.87	
6	07：40	65	55.0	0.85	
7	08：35	55	47.0	0.85	
全行程		326	275	0.84	

図 3-1　魚群の動き
Fig. 3 1　Movement of fish school



番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	17：15：10				小網の運動場の沖附近40m線に差し込んだ魚群は沖の網の垣網に向わず台の方に逸れる，小網の影響？（イワシ？）
2	16：00	50	42.5	0.85	
3	17：05	65	34.0	0.52	
4	17：57	52	40.0	0.77	
5	18：34	37	40.0	1.08	
6	19：43	69	55.5	0.80	
7	21：06	83	70.5	0.85	
8	22：17	71	54.0	0.76	
9	23：15	58	40.0	0.69	
10	24：40	85	70.0	0.82	
11	25：50	70	40.0	0.57	
全行程		640	486.5	0.76	

図 3-2　魚群の動き
Fig. 3-2　Movement of fish school

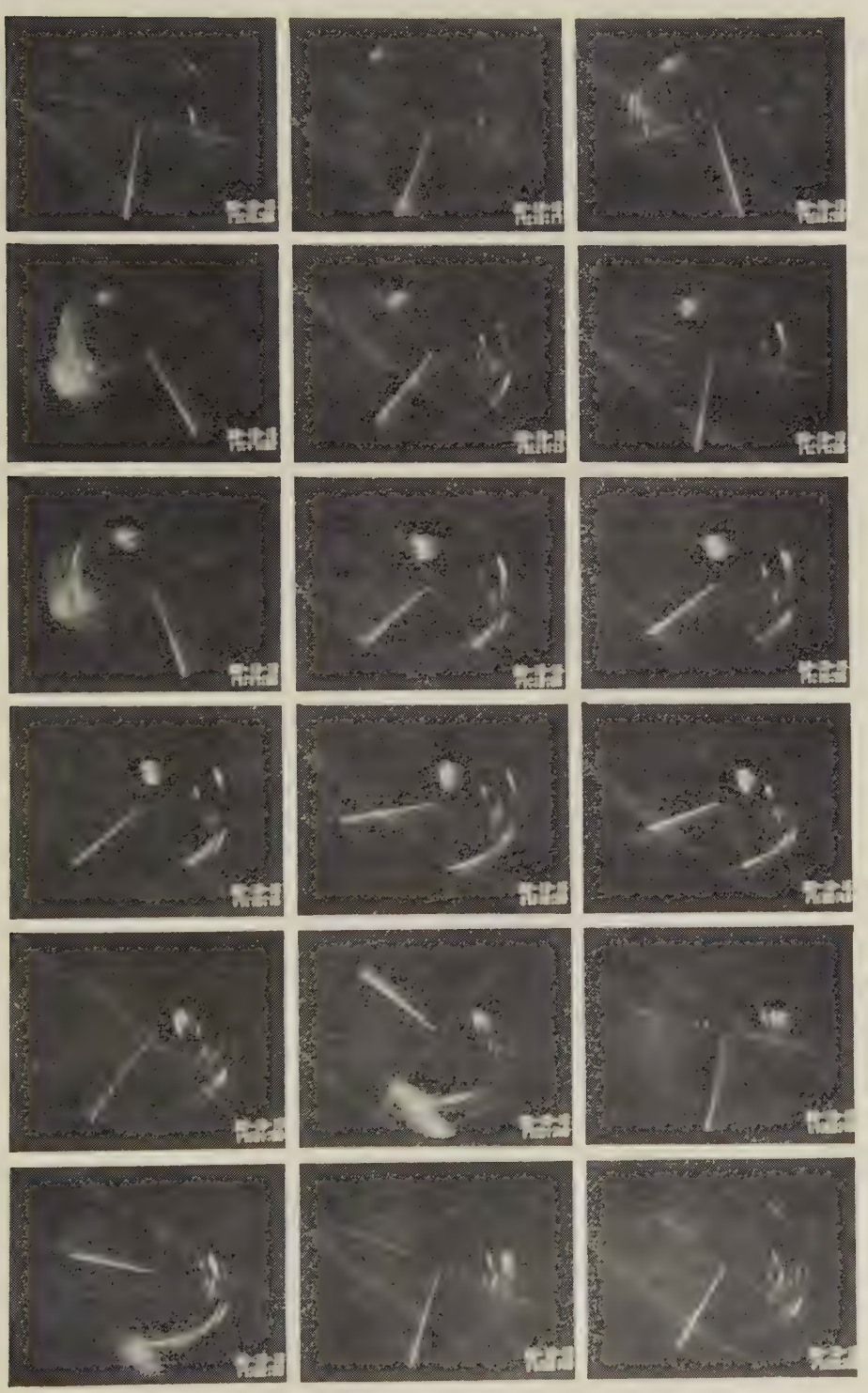
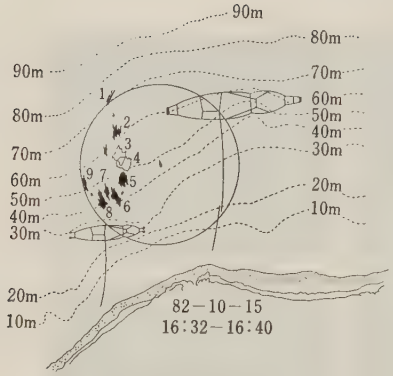
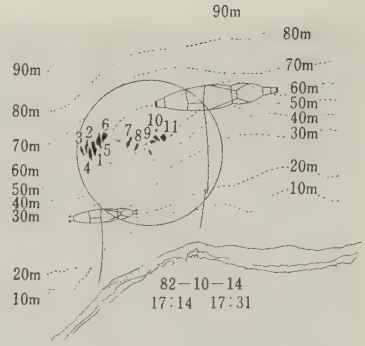


写真1 魚 群 の 動 き
Photo 1 Movement of fish school



番号	時刻 時分秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	16:32:45				小網の沖合から小網の登り網附近40m線まで差し込んだが，沖の網の垣網に向わず逆方向にUターンし沖へ去る。小網の影響か？（イワシ？）
2	34:10	85	80.0	0.94	
3	35:29	79	62.0	0.78	
4	36:01	32	23.5	0.73	
5	36:42	41	42.5	1.04	
6	37:22	40	45.0	1.13	
7	37:45	23	23.5	1.02	
8	38:17	32	23.5	0.73	
9	39:40	83	55.5	0.67	
全行程		415	355.5	0.86	

図 3-3　魚群の動き
Fig. 3-3　Movement of fish school



番号	時刻 時分秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	17:14:52				60m線沿いに差し込み沖の網の垣網の約115～120mくらいまで来たがその後不明である。游泳速度は特に遅いが5～6では殆ど動かず．（イワシ？）
2	15:31	39	23.5	0.60	
3	15:53	22	16.5	0.75	
4	16:32	39	21.0	0.54	
5	17:35	63	43.5	0.69	
6	24:13	398	21.0	0.05	
7	27:10	177	70.5	0.40	
8	27:44	34	23.5	0.69	
9	28:42	58	44.5	0.77	
10	29:41	59	16.5	0.28	
11	30:21	40	19.0	0.48	
全行程					

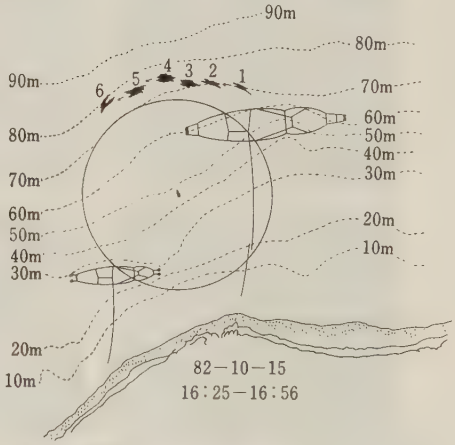
図 3-4　魚群の動き
Fig. 3-4　Movement of fish school

差し込む角度が前者と異り小網のほぼ沖合から差し込んでいる。この差し込み方は漁業者が経験的に魚群が来游する溝と云うものと一致している。沖から差し込んだ魚群は小網の沖で水深の深い方に反転し沖へ逸れて入網していない。游泳速度はおおよそ 0.86 m/s（約 1.7 ノット）である。図 3-2，図 3-3 の事例では何れも魚群が沖の網に入網せず逸れてしまい，江の浦漁場における魚群の移動状況を合せ考えると小網の影響が推定される。

パターン II. 50 m 等深より深い所から網へ向う魚群：

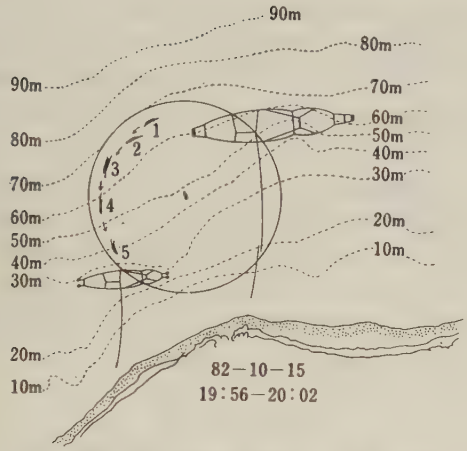
今回は連続して魚群の動きが得られた事例が少く余り明瞭ではないが，図 3-4 に示すように磯の小網の直接の影響は見られないようである。60 m 線からほぼ身網に平行して沖の網の羽口へ向っているが，入網したか台附近から沖へ逸れたかについては不明である。この魚群の游泳速度は可成り変動が大きく図 3-4 中の 5～6 では魚群は殆ど動いていない。事例が少ないので明瞭ではないが，江の浦魚場とほぼ同じ様魚群の動きではないかと思われる。

パターン III. 運動場の沖合あるいはその附近から反時計回りに差し込む魚群：江ノ浦漁場と同様にパターン II の動きをする魚群で，台附近から沖へ逸れた魚群が再び網の前面に回り込んだのではないかと思われる。



番号	時刻 時分秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	16:51:47				沖の網の沖側から反時計回りに現われている。一度沖へ逸れた魚群が網附近で滞留した後再び動いたのではなかろうか？（イワシ？）
2	52:47	67	63.5	0.95	
3	53:28	41	45.0	1.10	
4	54:10	42	47.0	1.12	
5	55:17	67	68.5	1.02	
6	56:20	63	63.5	1.01	
全行程		280	287.5	1.03	

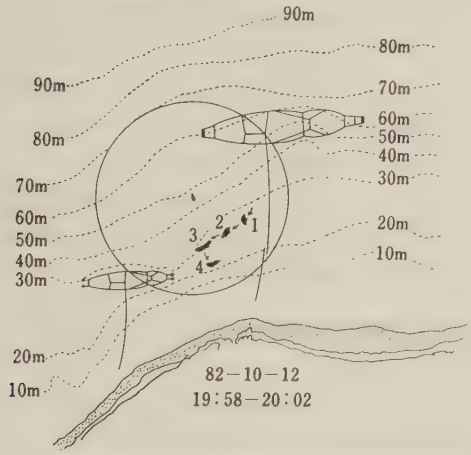
図 3-5　魚群の動き
Fig. 3-5　Movement of fish school



番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	19:56:22				沖の網の沖側から反時計回りに回り込むが小網に遭遇した後は不明。(イワシ？)
2	57:13	51	49.5	0.97	
3	58:48	95	76.5	0.81	
4	20:00:25	97	84.5	0.87	
5	01:55	90	92.0	1.02	
全行程		333	302.5	0.91	

図 3-6 魚群の動き

Fig. 3-6 Movement of fish school



番号	時刻 時 分 秒	経過時間 秒	移動距離 m	游泳速度 m/s	備考
1	19:58:00				沖の網の羽口から出た魚群が台の方から回り込んだ魚群かは不明だが小網の台に向ったが70mくらいまで近ずいたところで反転する。(イワシ？)
2	58:45	45	42.5	0.94	
3	59:41	56	52.0	0.93	
4	20:01:07	88	43.0	0.49	
全行程		189	137.5	0.72	

図 3-7 魚群の動き

Fig. 3-7 Movement of fish school

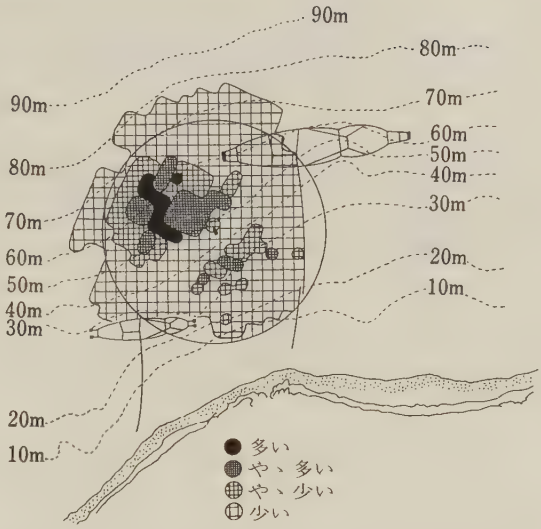


図 4 魚群の分布

Fig. 4 Distribution of fish school

図 3-5 に示す魚群は磯まで差し込んだがその後の動きは不明である。図 3-6 に示す魚群は磯の小網の突当り近くまで達しているが，その後の動きは不明である。江ノ浦漁場ではこれらの魚群が 30～50 m 線で集って再び羽口へ向ったと思われる事例が得られたが今回はこのような魚群の動きは見られなかった。事例が少くはっきりは分らないが，魚群が磯まで差し込んだ場合小網があるために江ノ浦漁場と異り，磯の小網の影響が伺われる。パターン III の魚群は一般に游泳速度は速くおおよそ 1 m/s 前後（約 2 ノット）である。

パターン IV. 出網魚群：出網魚群と思われる魚群は幾つか得られてはいるが，羽口を通過後の移動経路が何れもノイズなどのために明瞭ではなかった。

図 3-7 に示す魚群は出網した魚群か沖から差し込んで入網せずに垣網に当り磯へ向った魚群かは定かではないが，垣網のほぼ中ほどから 30 m 沿いに磯の小網の箱の台に向っている。しかし台の約 70 m くらい手前の所から進路を変えている。小網を認識しての行動かどうかは分らないが，小網の影響とも考えられる。

パターン V. 不規則に現われる魚群：今回の調査では連続した魚像が少く，小さな魚像があちらこちらとあちこちに現われるが，連続した魚群の動きを追跡することが出来ないような魚像が多かった。これらの魚像から大ざっぱな魚像の出現頻度分布を求めると図 4 のようになる。

沖の網の前面における魚群分布域は小網の沖から沖の網の台にかけての 40 m～60 m の海域に主分布域が形成

されている。また小網の台から沖の網の中ほどにかけての 25 m～35 m の海域にも若干分布域が認められる。しかしこの2つの分布域間の明確な繋がりは認められない。

これらの魚群分布域の全般的な傾向は等深線に沿った分布を示しているが，最も魚群が多く分布する海域は等深線にほぼ直角に沖から磯に向う帯状の分布であり，漁業者が経験的に魚群が来游して来る溝と称しているものと一致している。

魚群の分布のみでは魚群がどのように動くかは分らないが，前述の連続した魚群の動き，断片的な魚群の動きなどを考え合せると大ざっぱに分布の長軸方向の動きをしているようである。

以上が今回のスキャンニングソナーで得られた魚群の行動（主として水平的な動き）であるが，游泳水深は 5 m～20 m くらいが多いようである。

魚群が出現する時刻は 今回の調査では，15 時～18 時頃と 23 時～01 時頃とが多く，19 時～21 時頃にも一つの山が見られ，02 時～14 時頃の間は少かった。

魚種については魚獲物からみてイワシ，サバではないかと推定される。映像上では比較的魚像が大きく連続して現われるものはイワシと思われる。不規則に現われ映像の移動の追跡が困難なものはサバではないかと思われる。

4. 結　　言

魚群の来游が少く，とくに連続して魚群の動きが分るような映像が少いために結論的なことは云えないが，岩漁場の魚群行動の一端を知ることが出来た。

(1) 岩漁場前面（沖の網）に差し込む魚群の移動経路は漁業者が経験的に云う魚群が来游する溝と一致している。

(2) 魚群の動きの全般的な傾向は海底地形（等深線）と関係が深い。

(3) 魚群が沖から磯に差し込んで 30 m～40 m 線で沖の垣網に向うために変針するところに磯の小網が張り建てられているため，小網の影響が伺えるような魚群の行動が認められた。

(4) 岩漁場の全般的な魚群の動きのパターンは江ノ浦漁場と類似している点が多い。

以上の調査結果から沖の網前面における魚群の行動は磯の小網の影響が伺われるが，影響の程度，良非については資料が極めて少ないため充分解明することが出来なかったので，今後の調査を持たねばならない。

これらの問題の解明は網と網との間隔，前面の網の沖出し，網の統合，廃止などの問題や垣網前面の養殖施設の問題などの解決の基礎資料として重視され，限られた海域の有効利用にも大いに役立つものと思われる。

本調査を実施するに当って協力をいただいた神奈川県水産試験場相模湾支所の宮田所長，中村科長，平元専門研究員，神奈川県漁業研究会の方々に深謝致します。また色々と助言をいただいた漁業生産工学部矢島部長，昼夜連続調査に協力をいただいた「たか丸」の戸部船長，上原機関長他乗組員の方々に深謝致します。

参 考 文 献

1) 田原陽三・井上喜洋・森敬四郎；スキャンニングソナーによる定置網に対する魚群行動調査の試み，水工研研究報告　第3号，1982

2) 田原陽三・井上喜洋・森敬四郎；スキャンニングソナーによる定置網漁場の魚群行動調査 I ―小八幡漁場，江ノ浦漁場に於ける魚群行動―，水工研研究報告　第4号，1983

3) 田原陽三；定置漁業と魚群探知機，さかな No. 3，1969

4) 川田三郎・田原陽三；定置網漁場に於ける魚道測量の一つの試み（予報），日水誌，Vol. 24，No. 6，7，1958

5) 川田三郎・田原陽三；魚群探知機の記録から魚群の游泳速度を測定する一つの試み；日水誌，Vol. 24，No. 1，1958

6) 野沢　晴・間庭愛信・田原陽三；尾鷲湾に於ける魚道調査，尾鷲湾ダム調査報告書，1960

7) 田原陽三；定置網漁場に於ける魚道調査，ていち No. 29，1964

8) 田原陽三；魚群探知機から見た定置漁場に於ける魚群の行動―I，ていち No. 32，1967

9) 田原陽三；魚群探知機から見た定置漁場に於ける魚群の行動―II，ていち No. 54，1978

10) 田原陽三；魚群探知機から見た定置漁場に於ける魚群の行動―III，ていち No. 62，1982

11) 田原陽三；S. ソナーで見た定置漁場に於ける魚群の行動-I，ていち，No. 63，1982

12) 田原陽三・井上喜洋；定置網と魚群の行動，さかな No. 31，1983

Studies on Fish Behavior with Scanning Sonar around Set Nets II

Observing Fish Behavior in Iwa Fishing Ground in Sagami Bay

By

Yozo Tawara and Yoshihiro Inoue

Summary

We have observed fish behavior with scanning sonar at many set net fishing grounds. For this particular study, we observed a specific area of two set nets. One of the set nets was constructed offshore; and the other, in the coastal area across from the offshore set net. We investgated how these set nets influenced the fish behavior of the fish schools in the area.

Investigations of the fish behavior at the Iwa fishing ground in Sagami Bay were repeatedly conducted (day and night) from October 5th to 17th of 1982 utilizing scanning sonar. The 47 ton research vessel (with the installed scanning sonar) was anchored at a point approximatly 200 m from the offshore set net, between the offshore and coastal set nets. The area observed included the area between the small, coastal set net and the large, offshore set net.

The investigations provided us the following general points:

1. There is a close relationship between the behavior of fish schools approaching the coastline (and the small set net) and the bottom topoglaphy.
2. The route of the fish schools swimming towards the large offshore set net matched the route that the fishermen expected (based on their experinece).
3. The fish schools moving towards the coastline (from offshore) changed their course when they reached a water depth of 30～40 m. At this point, they headed offshore again. This was due to the small coastal set net that had been constructed there.

During the period of the investigations, the fish schools swimming around the set nets were too small to be able to clearly investigate their behavior. We plan on continuing our investigations in the future.

水産工学研究所の機構及び所在地

所長	茨城県鹿島郡波崎町海老台	電話 04794(4)4961
庶務課	同上	同上
水産土木工学部	同上	同上
漁船工学部	東京都中央区勝どき 5—5—1	03(531)7741
漁業生産工学部	同上	03(533)2944
勝どき庶務分室	同上	同上

ORGANIZATION OF NATIONAL RESEARCH INSTITUTE OF FISHERIES ENGINEERING FISHERIES AGENCY

Director General
Ebidai, Hasaki-machi, Kashima-gun, Ibaraki, Japan

General Administration
do.

Aquaculture and Fishing Port Engineering Department
do.

Fishing Boat and Instrument Department
5-1, Kachidoki 5-chome, Chuo-ku, Tokyo, Japan

Fishing Gear and Methods Department
do.

General Administration Kachidoki Branch
do.

水産工学研究所報告　第5号

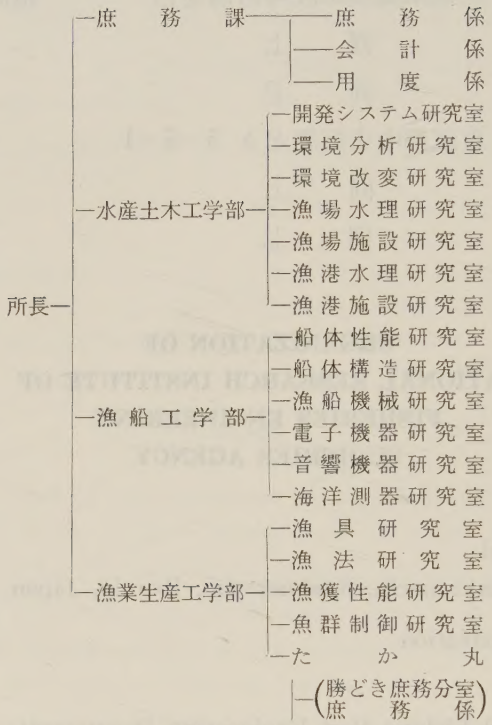
昭和59年3月10日　印刷
昭和59年3月20日　発行

水産庁　水産工学研究所

茨城県鹿島郡波崎町海老台（郵便番号 314—04）

発行者　土屋　孟
印刷所　創文印刷工業株式会社
印刷者　木村正義

水産工学研究所組織図



NATIONAL RESEARCH INSTITUTE OF FISHERIES ENGINEERING

Director General
- General Administration
- Aquaculture and Fishing Port Engineering Department
  - System Analisis of Aquacultual Ground Laboratory
  - Environment of Fishing and Harvesting Ground Laboratory
  - Improvement of Fishing and Harvesting Ground Laboratory
  - Hydraulics on Aquaculture Laboratory
  - Facilities for Aquaculture Laboratory
  - Hydraulics on Fishing Port Laboratory
  - Facilities for Fishing Port Laboratory
- Fishing Boat and Instrument Department
  - Ship Performance Laboratory
  - Hull Construction Laboratory
  - Engine and Machinery Laboratory
  - Ocean Electronics Laboratory
  - Underwater Acoustic Laboratory
  - Oceanographic Instrument Laboratory
- Fishing Gear and Methods Department
  - Fishing Gear Laboratory
  - Fishing Methods Laboratory
  - Analysis of Gear and Methods Laboratory
  - Fish Behaviour Control Laboratory